



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 9月19日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-285964

出 願 人

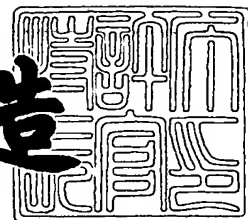
Applicant(s):

富士ゼロックス株式会社
小山 二三夫

2001年12月 7日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3106896

【書類名】 特許願
【整理番号】 FE01-01254
【提出日】 平成13年 9月19日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01S 51/83
【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市緑区長津田町 4 2 5 9

【氏名】 小山 二三夫

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県海老名市本郷 2 2 7 4 番地 富士ゼロックス株式会社海老名事業所内

【氏名】 植木 伸明

【特許出願人】

【識別番号】 000005496

【氏名又は名称】 富士ゼロックス株式会社

【特許出願人】

【識別番号】 501125862

【氏名又は名称】 小山 二三夫

【代理人】

【識別番号】 100079049

【弁理士】

【氏名又は名称】 中島 淳

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100084995

【弁理士】

【氏名又は名称】 加藤 和詳

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100085279

【弁理士】

【氏名又は名称】 西元 勝一

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100099025

【弁理士】

【氏名又は名称】 福田 浩志

【電話番号】 03-3357-5171

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2001- 91351

【出願日】 平成13年 3月27日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 006839

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9503326

【包括委任状番号】 9503325

【包括委任状番号】 9503322

【包括委任状番号】 9503324

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 表面発光型半導体レーザ及び表面発光型半導体レーザの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 発光領域が形成される第 1 の反射層と、活性層と、該第 1 の反射層との間で前記活性層を挟むように設けられる第 2 の反射層とを含む共振器を備えた面発光レーザにおいて、

前記発光領域に、

特定の発振モードを除く発振モードの発光を抑制する境界領域と、

前記境界領域によって実質的に分割され、かつ、前記特定の発振モードに対応した発光スポットを得る複数の分割領域と、

を備えたことを特徴とする表面発光型半導体レーザ。

【請求項 2】 前記境界領域は、前記発光領域の発光面となる表面層の一部に形成された凹部であることを特徴とする請求項 1 に記載の表面発光型半導体レーザ。

【請求項 3】 前記境界領域は、前記発光領域の発光面となる表面層の一部に形成された凸部であることを特徴とする請求項 1 に記載の表面発光型半導体レーザ。

【請求項 4】 前記凹部は、1 つ以上の孔であることを特徴とする請求項 2 に記載の表面発光型半導体レーザ。

【請求項 5】 前記凹部は、溝であることを特徴とする請求項 2 に記載の表面発光型半導体レーザ。

【請求項 6】 前記発光領域の大きさは前記特定の発振モードの発光を許容する大きさであることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の表面発光型半導体レーザ。

【請求項 7】 前記境界領域における共振器としての反射率が、前記分割領域における共振器としての反射率より小さいことを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の表面発光型半導体レーザ。

【請求項 8】 前記第 1 の反射層と前記活性層との間に、前記特定の発振モ

ードの発光に必要な電流の注入量に対応した非酸化領域を持つように酸化された電流狭窄層を備えることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の表面発光型半導体レーザー。

【請求項 9】 前記発振モードが直線偏光モードであり、前記特定の発振モードが直線偏光モードの 1 次以上のモードであることを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の表面発光型半導体レーザー。

【請求項 10】 前記表面層に隣接する層は、エッチングを阻止する材料よりなるエッチング阻止層であることを特徴とする請求項 2 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の表面発光型半導体レーザー。

【請求項 11】 表面発光型半導体レーザーの製造方法であって、
半導体基板の主面上に、下方の反射層、量子井戸が形成された活性層、及び内層側又は上層側に発光領域の発光面となる表面層を含む上方の反射層を順に設ける積層工程と、

少なくとも前記上方の反射層を部分的に残して柱状のポスト部を形成するポスト部形成工程と、

前記ポスト部の表面に露出する前記上方の反射層の表面の一部領域を加工して、特定の発振モードを除いて発振モードの発光を抑制し、かつ、前記特定の発振モードに対応した発光スポットを実質的に形成させる境界領域を形成する境界領域形成工程と、

を含む表面発光型半導体レーザーの製造方法。

【請求項 12】 請求項 11 に記載の表面発光型半導体レーザーの製造方法において、

前記積層工程において、前記表面層の下層側にエッチングの進行を阻止する材料よりなるエッチング阻止層を形成することを特徴とする表面発光型半導体レーザーの製造方法。

【請求項 13】 隣合う分割領域から発光する発光スポットが同相となるように当該隣合う分割領域の発光面となる表面層の媒質が異なる屈折率を持つことを特徴とする請求項 11 記載の表面発光型半導体レーザー。

【請求項 14】 前記複数の分割領域に対して、一つおきに分割領域の断面

形状が凹部形状または凸部形状に形成されることを特徴とする請求項 1 3 記載記載の表面発光型半導体レーザ。

【請求項 1 5】 前記断面形状が凹部形状であるとき、凹部形状がエッチングで形成され、前記断面形状が凸部形状であるとき、凸部形状が誘電体膜、半導体膜、及び透光性の金属膜のうち少なくとも一つを積層して形成されることを特徴とする請求項 1 4 記載の表面発光型半導体レーザ。

【請求項 1 6】 発光領域が形成される第 1 の反射層と、活性層と、該第 1 の反射層との間で前記活性層を挟むように設けられる第 2 の反射層とを含む共振器を備えた表面発光レーザにおいて、

前記発光領域に、特定の発振モードに対応した発光スポットを得る複数の分割領域を設け、隣合う分割領域から発光する発光スポットが同相となるように当該隣合う分割領域の発光面となる表面層の媒質が異なる屈折率を持つことを特徴とする表面発光型半導体レーザ。

【請求項 1 7】 前記複数の分割領域のうち隣接する分割領域の境界領域が前記特定の発振モードを除く発振モードの発光を抑制することを特徴とする請求項 1 6 記載の表面発光型半導体レーザ。

【請求項 1 8】 前記複数の分割領域に対して、一つおきに分割領域の断面形状が凹部形状または凸部形状に形成されることを特徴とする請求項 1 6 記載記載の表面発光型半導体レーザ。

【請求項 1 9】 前記断面形状が凹部形状であるとき、凹部形状がエッチングで形成され、前記断面形状が凸部形状であるとき、凸部形状が誘電体膜、半導体膜、及び透光性の金属膜のうち少なくとも一つを積層して形成されることを特徴とする請求項 1 8 記載の表面発光型半導体レーザ。

【請求項 2 0】 前記境界領域が、前記複数の分割領域に対して、一つおきに分割領域の断面形状が凹部形状または凸部形状に形成されたときの段差であることを特徴とする請求項 1 7 記載の表面発光型半導体レーザ。

【請求項 2 1】 前記段差にテーパを持たせたことを特徴とする請求項 2 0 記載の表面発光型半導体レーザ。

【請求項 2 2】 隣合う分割領域の境界領域にある段差部分を強調するよう

に段差から深さ方向に延びる窪みを設けたことを特徴とする請求項 2 1 記載の表面発光型半導体レーザ。

【請求項 2 3】 前記断面形状が凹部形状であるとき、当該凹部形状をエッチングで形成したときに、前記窪みが当該凹部形状と同時に形成されることを特徴とする請求項 2 2 記載の表面発光型半導体レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、表面発光型半導体レーザ及び表面発光型半導体レーザの製造方法に係り、特に、光情報処理や光通信用の光源、または光を使用してなされるデータ記憶装置の光源として用いられる表面発光型半導体レーザ及び表面発光型半導体レーザの製造方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

近年、光通信や光記録等の技術分野において、光源の 2 次元アレイ化が容易な表面発光型半導体レーザ（垂直共振器型表面発光レーザ；Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser diode（以下、VCSEL と称する。））への要求が高まっている。

【0 0 0 3】

表面発光レーザは、しきい値電流が低く消費電力が小さい、円形の光スポットが容易に得られる、ウェハ状態で評価が可能なことから生産性に優れる、といった利点がある。その反面、低しきい値の理由でもある「活性領域の体積が小さい」という原理から、素子抵抗が数十から数百 Ω と高く、光出力を数から数十 mW まで高めるのに困難が伴うことが知られている。

【0 0 0 4】

昨今、プラスチック・オプティカル・ファイバ（POF）に代表されるコストの安いマルチモード型光ファイバを用いた、短距離（数から数百メートル）の光通信が注目を集めている。長距離の光通信にはシングルモード型光ファイバと 1.3 若しくは 1.55 μm といった比較的長い波長のレーザとの組合せが用い

られるが、これらは共に高価で、低コスト化が求められる民生用途には向かない。一方、マルチモード型光ファイバに使用される光源は、素子それ自体が安価であると同時に、特別な光学系や駆動系を必要としない、小型・軽量である、といった点を満足する必要がある、これらの特徴を兼ね備えた面発光レーザは有力な選択肢のひとつとなっている。

【 0 0 0 5 】

現在主に市場に流通している代表的な表面発光レーザはプロトン注入型 VCSEL で、サーマルレンズ効果によって電流通過領域とその周囲の領域との間に熱に起因する僅かな屈折率差が生じ、弱い光閉じ込め状態が作られる。この原理に従い、非プロトン注入領域（電流通路）の径を十から数十 μm としてレーザ発振を得る。ただし、光閉じ込めが弱いため発光効率が低く、また熱の発生も大きいことから、しきい値電流は高く、さらにバイアス電圧をかけない状態においては応答特性が悪いことも知られている。

【 0 0 0 6 】

構造分類的に利得導波構造と呼ばれるプロトン注入型 VCSEL に対し、光閉じ込めのための屈折率分布を意識的に形成したものが屈折率導波構造に分類される選択酸化型の VCSEL である。この型の VCSEL は、活性領域近傍の半導体多層反射膜の一部を選択的に酸化し、屈折率導波路を形成するものであり、強い光閉じ込め効果を有するので、しきい値電流が低く、しかも応答特性が速い。

【 0 0 0 7 】

ところが、このように良好な特性を示す選択酸化型 VCSEL も、出力を増大させる目的で発光領域の径（ほぼ非選択酸化領域の径に相当）を大きくすると様々な次数での発振が許容されるようになり、いわゆるマルチモード発振となる。マルチモード発振ではスペクトル線幅が広がり、光ファイバの有するモード分散特性のためファイバ中での信号の減衰が増加する。あるいはモード状態が不安定になり、注入電流量や周囲温度の変化によって発振の主たるモードの次数が容易に変化してしまう。モード次数の動的な変化はファイバへの結合効率の変化をもたらす好ましくない。

【 0 0 0 8 】

この問題を回避するのに発光領域の径を狭くして、最も次数の低い基本（0次）モードのみで発振するよう発振横モードを制御する方法がある。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、これらのVCSELは、典型的には発光領域の径を4 μm 以下と、上述のプロトン注入型に比べて狭くする必要があり、このため素子抵抗が高い上に高出力化が望めないという欠点があった。横モードの安定化は光ファイバとの光学的結合時に減衰を生じないための必須要件であり、その上で電気・光学特性を向上させる必要がある。

【0010】

発光効率、応答特性に優れた選択酸化型VCSELにおける横モードの安定性と低抵抗化・高出力化、という対立した課題を両立するアイデアとして、アイイーイーイー・フォトニクス・テクノロジー・レターズ ヴォリューム11、ナンバー12、1536-1538ページに示される構造のVCSELがある（図15参照）。この例においては発光領域の径は20 μm と大きいですが、レーザ光が出射する電極開口の内側を、開口の中心から半径7.75 μm の領域を残して深さ40 nmまでエッチング除去している。

【0011】

発光領域の径が20 μm と大きいため、この表面加工がない場合は注入電流量に応じて発振モードの次数が変化し、遠視野像の移り変わりが観察される。これに対して孔有り表面発光型半導体レーザでは光出力0.7 mWまでは基本モードでの発振が得られたが、それ以上の電流注入時にはモードの分裂が生じ、遠視野像は徐々に広がっていったと記されている。

【0012】

上記のVCSELの狙いは基本モード光出力の向上にあるが、孔有り表面発光型半導体レーザにおける最大光出力は10.4 mWであるのに対して、基本モードでの出力はわずか0.7 mWにとどまっている。表面加工を行なわなかった場合の最大光出力が17.9 mWであったとのことであるから、横モードを安定化させた上で大きな光出力を得ることがいかに困難であるかを端的に示す結果であ

る。

【0013】

なお、この他にもモード制御を目的とする様々なVCSEL構造が提案されている。例えば、米国特許5,940,422号公報（(Filed: Jun. 28, 1996) Assignee: Honeywell Inc.）には、膜厚の異なる2つの領域を形成することでモード制御を行なうVCSELが示されている。ここでは、付加的は膜を着膜した領域のみが発光領域になるとしているが、人為的に発光スポットの位置を決めることが狙いであり、VCSELで生じ得る特定の発振を意識して位置を定めているわけではないと考えられる（例えば、実施例の一つとして示されている発光スポットが5個現れる発振モードは自然界には存在しない）。

【0014】

また、米国特許5,963,576号公報（(Filed: August. 4, 1997) Assignee: Motorola Inc.）には、環状の導波路を有するVCSELが示されている。ここでは、超解像スポットを得るため、環状の領域に発光スポットが規則正しく並ぶモードを生じさせることが狙いであり、必ずしも次数の定まった特定の発振モードを得ることを目的としていないと考えられる。

【0015】

アイイーイーイー・フォトニクス・テクノロジー・レターズ ヴォリューム9、ナンバー9、1193-1195ページ（IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS（文献名；Published: SEPTEMBER, 1997）Authors: Univ. Bristol/Hewlett Packard Labs.）には、ポスト上面部にエッチングによって円形の窪みを形成し、ミラー反射率に局所的な変調を加えた構成のVCSELが示されている。この素子の発振スペクトル幅は窪みのない素子に比べ半減し、モード抑制の効果があったとしている。ただし、注入電流量の増加と共にこの発振スペクトルについても変化が見られ、このことは特定の発振モードが常に支配的でないことを端的に示すものであるから、モードが安定していないことは明らか

である。

【0016】

さらに、エレクトロニクス・レターズ・ヴォリューム34、ナンバー7、681-682ページ (Electron. Lett. (Published: April, 1998) Authors: Motorola Inc.) には、ポスト上面部にエッチングによって円形の窪みを形成し、この窪みの外周部に円環状の発光領域を設けた構成のVCSELが提案されている。環状の領域に非常に次数の高い (>30 次) モードが生じていることがニアフィールドパターンからわかるが、同時に発光スポットの強度に大きなばらつきがあることがわかる。これは、内径が $30\mu\text{m}$ にも達する環状領域に均一な電流注入を行なうことが難しいことを示しており、したがって実用のため安定した高次モードの発振を得るにはまだ改善の余地がある。

【0017】

以上述べてきたようにマルチモード型光ファイバ用の光源として期待されるVCSELについては、横モードを安定化させるという要件を満足しながら、高出力、低抵抗、高効率、かつ高速応答の素子が現状では得られていない。

【0018】

従って本発明の目的は、横モードを安定化させるという要件を満足しながら、高出力、低抵抗、高効率、かつ高速応答という特性を有する表面発光型半導体レーザ及び表面発光型半導体レーザの製造方法を提供することを目的とする。また、前記特性を有する表面発光型半導体レーザを容易な製造方法で、かつ再現性高く製造できる表面発光型半導体レーザの製造方法を提供することを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、請求項1に記載の発明では、発光領域が形成される第1の反射層と、活性層と、該第1の反射層との間で前記活性層を挟むように設けられる第2の反射層とを含む共振器を備えた面発光レーザにおいて、前記発光領域に、特定の発振モードを除く発振モードの発光を抑制する境界領域と、前記境界領域によって実質的に分割され、かつ、前記特定の発振モードに対応した発

光スポットを得る複数の分割領域と、を備えたことを特徴としている。

【0020】

請求項1に記載の発明では、境界領域が特定の発振モードを除く発振モードの発光を抑制するように、例えば、分割領域により共振器の周回損失が相対的に大きくなるように、形成され、分割領域に特定の発振モードに対応した発光スポットを形成させるように働く。

【0021】

このような境界領域は、発光に関係する第1の反射層又は第2の反射層との少なくとも一方に設ければよいが、好ましくは、光出射側となる反射層に形成するとよい。

【0022】

また、境界領域はこれら反射層の最上層に限らず、共振に関係する反射層の上層、反射層の内部の層又は最下層に設けるようにすることもできる。この構成は、例えば、結晶成長などの方法により発光領域を構成する各層の少なくとも1つ層の形成時に、境界領域に対応する発光領域の一部分の光の反射状態が変わるように選択成長させる、すなわち、分割領域より周回損失をおおきくすることにより実現できる。なお、境界領域は0次モードを抑制するために中央領域を含むように形成する。

【0023】

また、発光領域の径が大きいと光スポットがさらに分割され、より高次のモードへとホッピングすることがある。そのため、境界領域により区分けされた各領域の大きさを適当に選び、モードホッピングを生じにくくして、発振モードを固定化することも有効である。例えば、境界領域により区分けされる各領域に生ずる発光スポットの径を約3 μ m程度となる分け方とすると安定性が増すので好ましい。

【0024】

また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の表面発光型半導体レーザにおいて、前記境界領域は、前記発光領域の発光面となる表面層の一部に形成された凹部であることを特徴とする。請求項2に記載の発明では、境界領域を凹部と

することにより、凹部の底面部分が他の領域（分割領域）よりも周回損失が大きい領域となるので、この部分が境界領域として働くこととなる。

【 0 0 2 5 】

このような凹部としては、例えば、請求項 4 に記載したように 1 つ以上の孔としたり、請求項 5 に記載したように溝とすることができる。もちろん、孔と溝とを組み合わせただけのものとしてもよく、必要とするモードに応じて凹部の数や形状を適宜選択できる。

【 0 0 2 6 】

また、境界領域としては上述した凹部以外に、請求項 3 に記載したように凸部として構成することも可能である。すなわち、請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 に記載の表面発光型半導体レーザにおいて、前記境界領域は、前記発光領域の発光面となる表面層の一部に形成された凸部であることを特徴とする。請求項 3 に記載の発明では、前記境界領域を凸部とすることにより、凸部の底面部分が他の領域（分割領域）とは反射率が異なる領域となるので、この部分が境界領域として働くこととなる。

【 0 0 2 7 】

また、請求項 6 に記載したように、請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の表面発光型半導体レーザにおいて、前記発光領域の大きさは、前記特定の発振モードの発光を許容する大きさとするのが好ましい。

【 0 0 2 8 】

さらに、請求項 7 に記載したように、請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の表面発光型半導体レーザにおいて、前記境界領域における共振器としての反射率が、前記分割領域における共振器としての反射率より小さくすることが好ましい。

【 0 0 2 9 】

すなわち、請求項 7 では、境界領域は、前記分割領域の反射率よりも小さい反射率を持つ領域としている。この境界領域において、共振器としての反射状態が部分的に小さくなるので、発光領域が分割されて全体として特定の発振モードに対応した発光スポットが形成されることになる。

【 0 0 3 0 】

また、請求項 8 に記載したように、請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の表面発光型半導体レーザが、前記第 1 の反射層と前記活性層との間に、前記特定の発振モードの発光に必要な電流の注入量に対応した非酸化領域を持つように酸化された電流狭窄層を備える構成とすると好ましい。

【 0 0 3 1 】

さらに、請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の表面発光型半導体レーザにおいて、請求項 9 に記載したように、前記発振モードが直線偏光モードであり、前記特定の発振モードが直線偏光モードの 1 次以上のモードであるように構成すると好ましい。

【 0 0 3 2 】

また、エッチングにより形成される凹部の深さは、深ければその分活性層の損失が大きくなり、境界領域が明確になるが、レーザとしての出力も下がるため、ある程度の深さとするのが好ましい。そのため、請求項 1 0 に記載したように、前記表面層に隣接する層は、エッチングを阻止する材料よりなるエッチング阻止層とすると好ましい。この場合、例えば、複数の凹部を形成する場合、精密な制御を行わなくても全ての凹部を同じ深さに形成できるので特に有効である。

【 0 0 3 3 】

以上説明してきたように、本発明の表面発光レーザによれば、選択酸化型 VCSEL の高効率、高速応答性を維持しながら発振モードを安定化させ、さらに高出力、低抵抗の特性を初めて実現できる。

【 0 0 3 4 】

また、請求項 1 1 に記載の発明は、表面発光型半導体レーザの製造方法であって、半導体基板の主面上に、下方の反射層、量子井戸が形成された活性層、及び内層側又は上層側に発光領域の発光面となる表面層を含む上方の反射層を順に設ける積層工程と、少なくとも前記上方の反射層を部分的に残して柱状のポスト部を形成するポスト部形成工程と、前記ポスト部の表面に露出する前記上方の反射層の表面の一部領域を加工して、特定の発振モードを除いて発振モードの発光を抑制し、かつ、前記特定の発振モードに対応した発光スポットを実質的に形成さ

せる境界領域を形成する境界領域形成工程と、を含むことを特徴とする。

【 0 0 3 5 】

請求項 1 1 に記載の発明では、積層工程において、半導体基板の主面上に、下方の反射層、量子井戸が形成された活性層、及び内層側又は上層側に発光領域の発光面となる表面層を含む上方の反射層を順に設けた後、少なくとも前記上方の反射層を部分的に残して柱状のポスト部を形成し、表面発光型半導体レーザを構成する共振器を形成した後、さらに、前記ポスト部の表面に露出する前記上方の反射層の表面の一部領域を加工することにより、特定の発振モードを除いて発振モードの発光を抑制し、かつ、前記特定の発振モードに対応した発光スポットを実質的に形成させる境界領域を形成している。

【 0 0 3 6 】

境界領域は、特定の発振モードを除いて発振モードの発光を抑制し、かつ、前記特定の発振モードに対応した発光スポットを実質的に形成させる領域であり、このような領域は、例えば、共振器としての反射率を他の領域と異ならせることにより形成できる。

【 0 0 3 7 】

共振器としての反射率を他の領域と異ならせるためには、前記上方の反射層の表面の一部領域を加工して他の部分に対する厚さや屈折率を変えることにより実現できる。加工方法としては、境界領域に対応する領域の上層を部分的に削除したり、境界領域に対応する領域の以外の領域にさらに層を積層して付加することにより形成できる。

【 0 0 3 8 】

また、境界領域としてエッチング等を用いて部分的に層の一部を除去することにより凹部及び凸部の少なくとも一方を形成してもよいし、リソグラフィ技術を用いて前記境界領域が形成されていない層を付加することにより凹部を形成してもよいし、前記境界領域の部分のみを付加することにより、凸部を形成するようにしてもよい。

【 0 0 3 9 】

また、境界領域に対応する領域の上層を部分的に削除する加工方法としては、

エッチングが好適である。境界領域を複数の凹部により形成する場合、全ての凹部の反射率が揃うようにすることが好ましく、これを実現するためには、全ての凹部の深さが揃うようにエッチング加工する必要がある。このためには、エッチング条件を精密に制御することとなるが、エッチング条件を精密に制御するだけでは精度よく全ての凹部の深さが揃うよう凹部を形成するのは難しい。

【 0 0 4 0 】

すなわち、表面加工によって共振器平面内に反射率分布が生じ、光導波特性に影響を与えるが、その際例えばエッチングによってこれを行なう場合、エッチング深さが重要なパラメータとなる。VCSELの共振器を構成する分布反射ミラー (D i s t r i b u t e d B r a g g R e f l e c t o r M i r r o r) の特性は材料固有の屈折率とその膜厚に依存して周期的に変化するから、エッチングの深さによって膜厚が変わるとミラー反射率もそれに応じて周期的に変化するからである。すなわち深さの絶対値も重要だが、エッチングする複数箇所の深さが揃っていないと所望の反射率分布が得られないからである。したがって一意的にエッチング深さを決める手段が必要となる。

【 0 0 4 1 】

そのため、請求項 1 2 に記載の発明は、請求項 1 1 に記載の表面発光型半導体レーザの製造方法において、前記積層工程において、前記表面層の下層側にエッチングの進行を阻止する材料よりなるエッチング阻止層を形成することを特徴としている。

【 0 0 4 2 】

このようなエッチング阻止層を形成することにより、エッチング条件を精密に制御せずとも、精度よく全ての凹部の深さ揃うようにエッチング加工できる。そのため、製造効率、及び製造コスト、さらに、製造歩留まりも向上するので好ましい。

【 0 0 4 3 】

以上の発明では、隣合う分割領域の発光スポット間の位相差が π (180°) あり、そのためファーフールドパターン (FFP) は双峰性となり、光ファイバとの結合性は、位相差のない単峰性のものより低い。そこで、この位相差を解

消して単峰性の F F P を得るために、位相シフトを生じさせる構造を設けるのが好ましい。このため、請求項 1 3 の発明では、請求項 1 の発明において、隣合う分割領域から発光する発光スポットが同相となるように当該隣合う分割領域の発光面となる表面層の媒質が異なる屈折率を持つものである。即ち、光路長 L は λ / n (但し、 λ は波長、屈折率は n) であるので、隣合う分割領域の発光面となる表面層の媒質を異なる屈折率とすることにより、位相シフトさせ、同相とする事が可能である。この結果、広がり角が小さくなると共に F F P が単峰性となり、光ファイバー等との結合効率を飛躍的に向上させることができる。従って、半導体レーザを更に高出力、高速化することができる。なお、本明細書において、「同相」とは、好ましくは、位相差 0 であるが、広がり角が小さくなることが目的であるので、完全に 0 でなく不完全でも位相シフト構造を設けないものより広がり角が小さくなる場合も「同相」に含むものとする。請求項 1 4 の発明では、前記複数の分割領域に対して、一つおきに分割領域の断面形状が凹部形状又は凸部形状に形成されるものである。即ち、凹部形状の分割領域 (又は凸部形状の分割領域に隣接する分割領域) の媒質の屈折率 n と、凹部形状の分割領域の隣接する分割領域 (又は凸部形状の分割領域) の媒質の屈折率 n とは異なり、例えば、前者は空気では n は 1 であり、後者は半導体では n は 3 程度であり、光路長 L を制御して位相を同相にする事ができる。請求項 1 5 の発明では、請求項 1 4 の発明において、前記断面形状が凹部形状であるときは、凹部形状がエッチングで形成されるのが好ましく、前記断面形状が凸部形状であるときは、凸部形状が誘導体膜、半導体膜、及び透光性の金属膜のうち少なくとも一つを積層して形成されるのが好ましい。

【 0 0 4 4 】

請求項 1 の発明のように、特別に境界領域を設けることなく、結果として、特定の発振モード以外の発振モードが制御でき、かつ隣合う分割領域の発光スポット間に生じる位相差 π を解消するため、位相シフトを生じる構造を設けるようにしてもよい。このため請求項 1 6 の発明では、発光領域が形成される第 1 の反射層と、活性層と、該第 1 の反射層との間で前記活性層を挟むように設けられる第 2 の反射層とを含む共振器を備えた面発光レーザにおいて、前記発光領域に、特

定の発振モードに対応した発光スポットを得る複数の分割領域を設け、隣合う分割領域から発光する発光スポットが同相となるように当該隣合う分割領域の発光面となる表面層の媒質が異なる屈折率を持つものである。この構成により、請求項 1 3 の発明と同様に、隣合う分割領域の発光スポット間に生じる位相差 π を解消できると共に、請求項 1 7 に記載のように、前記複数の分割領域のうち隣接する分割領域間の境界領域が前記特定の発振モードを除く発振モードの発光を制御するように働くので、請求項 1 3 の発明と同様に結合効率を飛躍的に向上させることができると共に、半導体レーザを高出力、高速化でき、しかも、構成が簡単なため半導体レーザを低コストかつ歩留まり良く製造する事が可能となる。好ましくは、前記複数の分割領域に対して、一つおきに分割領域の断面形状が凹部形状又は凸部形状に形成され、更に好ましくは、前記断面形状が凹部形状であるときは、凹部形状がエッチングで形成されるのが好ましく、前記断面形状が凸部形状であるときは、凸部形状が誘導体膜、半導体膜、及び透光性の金属膜のうち少なくとも一つを積層して形成されるのが好ましい。請求項 2 0 の発明では、前記複数の分割領域に対して、一つおきに分割領域の断面形状が凹部形状又は凸部形状に形成されたときの段差であることが好ましい。従って、結果としてできた段差が、特定の発振モード以外の発振モードを制御する境界領域であるので、半導体レーザの低コスト、高歩留まり化を達成することを可能とする。この段差部分は、特別に設けた溝等の境界領域より、反射率を低下させることができないので、好ましくは、反射率を低下させるために、前記段差にテーパを持たせるのがよい。別の好適な実施態様では、隣合う分割領域の境界領域にある段差部分を強調するように段差から深さ方向に延びる窪みを設けて反射率を低下させるのがよい。この場合、前記断面形状が凹部形状であるとき、当該凹部形状をエッチングで形成したときに、前記窪みが当該凹部形状と同時に形成されるようにするのが更に好ましい。

【 0 0 4 5 】

【発明の実施の形態】

まず、シングル高次モード発振を得るための原理について説明する。VCSELの発光領域内に生ずる光学モードは、光ファイバ中での光の伝搬特性に関して

分散方程式を解いた結果から類推可能である。例えば、通常 LP_{01} の基本モードに始まり、分裂を繰り返して LP_{11} 、 LP_{21} と次数を高めつつ、光学的に許容される最大次数のモードまで、キャリア分布といった外的因子に影響を受けながら変化する。したがって所望のモードの形状に応じ、そのモードでは光強度（電界分布の2乗に対応）が弱い領域の反射率のみを意図的に下げれば、所望のモードで選択的に発振が生じ易くなる。

【0046】

また、モードに対して求められるモードパターン（電界強度分布）が報告されており、アプライド・オプティクス ヴォリューム15、ナンバー1、239-243ページには、 LP_{nm} (Linearly Polarized) モードに対して求められるモードパターン（電界強度分布）が報告されている。

【0047】

例えば、図1に、 LP_{01} モード（基本モード）に対して、発光スポットを2分割した LP_{11} モード、発光スポットを4分割した LP_{21} モード、発光スポットを6分割した LP_{31} モード、発光スポットを8分割した LP_{41} モード、及び、発光スポットを10分割した LP_{51} モードを示す。なお、図1の発光スポットの模式図においてスポット間に記載した破線はモードの境界を模式的に示す仮想線である。

【0048】

LP_{11} モードは、境界領域を孔で構成する場合は、発光スポットの中央に相当する領域に1つの孔または境界線（仮想線）に沿って複数の孔を設けることにより得られ、境界領域を溝で構成する場合は、発光スポットの中央に相当する領域を通る長溝を設けることにより得られる。

【0049】

LP_{21} モードは、境界領域を孔で構成する場合は、発光スポットの中央に相当する領域に1つの孔、及び、該孔を中心に4つの孔を設けることにより得られ、境界領域を溝で構成する場合は、発光スポットの中央に相当する領域を中心にして互いに90度となるように配置された4本の長溝を設けることにより得られる。

【 0 0 5 0 】

LP₃₁モードは、境界領域を孔で構成する場合は、発光スポットの中央に相当する領域に1つの孔、及び、該孔を中心に6つの孔を設けることにより得られ、境界領域を溝で構成する場合は、発光スポットの中央に相当する領域を中心にして互いに60度となるように配置された6本の長溝を設けることにより得られる。

【 0 0 5 1 】

また、LP₄₁モードは、境界領域を孔で構成する場合は、発光スポットの中央に相当する領域に1つの孔、及び、該孔を中心に8つの孔を設けることにより得られ、境界領域を溝で構成する場合は、発光スポットの中央に相当する領域を中心にして互いに45度となるように配置された8本の長溝を設けることにより得られる。

【 0 0 5 2 】

さらに、LP₅₁モードは、境界領域を孔で構成する場合は、発光スポットの中央に相当する領域に1つの孔、及び、該孔を中心に10の孔を設けることにより得られ、境界領域を溝で構成する場合は、発光スポットの中央に相当する領域を中心にして互いに36度となるように配置された10本の長溝を設けることにより得られる。

【 0 0 5 3 】

なお、図1において孔及び溝は本発明の境界領域に相当し、得られる発光スポットは、それぞれ孔又は溝により分割された領域に形成されていることがわかる。

【 0 0 5 4 】

本発明をさらに詳細に説明するため、以下、図面を参照して本発明の表面発光型半導体レーザ及び表面発光型半導体レーザの製造方法を適用した実施の形態の例を詳細に説明する。

【 0 0 5 5 】

(第1の実施の形態)

第1の実施形態では、スポットエッチング型の境界領域を備えた表面発光型半

導体レーザ、及びその製造方法について説明する。本実施の形態の方法は、請求項11の表面発光型半導体レーザの製造方法に相当する。

【0056】

まず、図2(A)に示すように、有機金属気相成長法(MOCVD法)により、n型のGaAs基板10の(100)面上に、n型の $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層とn型の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 層との複数層積層体よりなる下部多層反射膜12と、アンドープの $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ 層よりなる下部スペーサ層14と、アンドープのGaAs層よりなる量子井戸層とアンドープの $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 層よりなる障壁層との積層体よりなる量子井戸活性層(図示せず)と、アンドープの $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ 層よりなる上部スペーサ層18と、p型のAlAs層20と、p型の $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層とp型の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 層との複数層積層体よりなる上部多層反射膜22と、p型のGaAs層よりなるコンタクト層24とを、順次積層形成する。

【0057】

下部多層反射膜12は、n型の $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層とn型の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 層との複数層積層体よりなるが、各層の厚さは $\lambda/4nr$ (但し、 λ は発振波長であり、 nr は媒質の屈折率である。)であり、混晶比の異なる層を交互に36.5周期積層してある。n型不純物であるシリコンのキャリア濃度は $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0058】

また、量子井戸活性層(図示せず)は、厚さが8nmであるアンドープのGaAs層よりなる量子井戸層と厚さが5nmであるアンドープの $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 層よりなる障壁層とを交互に積層した積層体の3組(但し、外層はいずれもアンドープの $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 層よりなる障壁層とするため、障壁層の数は4層である)よりなり、波長850nm帯の発振を得る。

【0059】

上部多層反射膜22は、p型の $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層とp型の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 層よりなる複数積層体である。各層の厚さは $\lambda/4nr$ であり、混晶比の異なる層を交互に22周期積層してあるが、この周期数は下層に設けたAlA

s 層 20、および上層に設けたコンタクト層 24 を加えた数である。ただし、AlAs 層 20 に関しては $\lambda/4$ nr 膜を構成する材料がすべて AlAs からなる必然性はなく、反対に AlAs 層が必要以上に厚いと光学的散乱損失が増えるといった問題が生じる場合があるので、ここでは AlAs 層は厚さ 20 nm として、残りの部分は $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ とした。p 型不純物である炭素のキャリア濃度は $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0060】

上部多層反射膜 22 の周期数（層数）を下部多層反射膜 12 のそれよりも少なくしてある理由は、反射率に差をつけて出射光を基板上面より取り出すためである。また、詳しくは述べないが、素子の直列抵抗を下げるために、上部多層反射膜 22 中には、 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層と $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 層との間に、その中間のアルミニウム混晶比を有する所謂中間層が介在している。

【0061】

下部スペーサ層 14 の下面から上部スペーサ層 18 の上面までの膜厚は全体で λ/nr の整数倍としてその間に定在波が立つようにし、光強度の最も強い所謂「腹」の部分が量子井戸活性層の位置に来るように設けられている。

【0062】

p 型の GaAs 層よるなるコンタクト層 24 は厚さが 20 乃至 50 nm、p 型不純物である亜鉛のキャリア濃度は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0063】

次に、レーザ基板を成長室から取り出し、基板上面にエッチング時のマスク材料となる SiON 26 を堆積した後、図 2 (B) に示すように、正方形のレジストマスク 28 を形成し、露出した SiON 26 の部分をバッファード HF で除去する。これをエッチングマスクとして $\text{BCl}_3:\text{Cl}_2$ を原料ガスとする反応性イオンエッチングを行い、少なくとも AlAs 層 20 が露出するまで掘り下げ、図 2 (C) に示すように、30 μm 径の角柱状のポスト部 30 を形成する。ただしエッチングの深さは下部多層反射膜 12 に到達するまで、あるいは GaAs 基板 10 に到達するまでとしても良く、その深さは本案特許の内容とは直接関係がない。

【 0 0 6 4 】

このようにして少なくとも上部多層反射膜 2 2 をメサ（ポスト）状に加工した後、窒素をキャリアガス（流量：2 リットル／分）とする 3 6 0 ℃ の水蒸気雰囲気中に 4 0 分間晒す。この工程において、上部多層反射膜の一部を構成する A l A s 層 2 0 は A l_{0.8} G a_{0.2} A s 層や A l_{0.1} G a_{0.9} A s 層に比べ酸化速度が著しく速いから、外周部から酸化される。そしてポスト内の一部、活性領域の直上部分にポスト形状を反映した絶縁領域（電流狭窄部）3 2 が形成され、一方酸化されずに残った非酸化領域 3 4 が電流注入領域となる。上記条件での実験では一辺 8 μ m の矩形電流注入領域が形成された。

【 0 0 6 5 】

その後、露出したポスト側面を含む基板上面に感光性ポリイミド 3 6 を堆積した後、フォトリソグラフィによりポスト部 3 0 の頂部に堆積した感光性ポリイミド 3 6 のみ除去したのち、さらに、ポスト形成時に使用した S i O N 2 6 を除去して、図 3（A）に示すように、ポスト部 3 0 の頂部にコンタクト層 2 4 を露出させる。

【 0 0 6 6 】

次に、ポスト頂部の中央領域に、一辺約 1 0 μ m の矩形のレジスト構造物 3 8 を形成した後、上方から電子ビーム蒸着により A u、Z n、A u を連続的に堆積する（図 3（B）参照）。その後、レジスト構造物 3 8 を除去するとレジスト構造物 3 8 の上面に堆積していた A u、Z n、A u 1 1 a が共に取り除かれて（リフトオフ）、図 3（C）に示すように、ポスト頂部には p 側電極 1 1 と共に電極開口部 4 0 が形成される。

【 0 0 6 7 】

次にこの電極開口部 4 0 内に集束イオンビーム（F I B）加工装置を用いて、図 4（A）に示すように、5 つの丸い孔 5 0 a ～ 5 0 e を形成する。なお、これら 5 つの丸い孔 5 0 a ～ 5 0 e は請求項 1 の境界領域、請求項 2 の凹部、及び請求項 4 の孔に相当する。1 つの孔 5 0 a は、例えば、図 4（C）に示すように、約 8 μ m の矩形電流注入領域の中心位置に相当する上方の多層反射膜表面に形成し、残りの 4 つの孔 5 0 b ～ 5 0 e は矩形電流注入領域のコナー部、例えば、

約 $2\ \mu\text{m}$ 角程度離れた位置に形成した。ここでは、各孔 50 a ~ 50 e の径は例えば、約 $0.5\ \mu\text{m}$ 、深さは上部多層反射膜 22 に達する深さ、例えば、約 $0.5\ \mu\text{m}$ としている。勿論、本発明はこれらの数値に限定されない。なお、これら 5 つの丸い孔 50 a ~ 50 e を形成した場合、図 4 (B) に示すように 4 つの発光スポット 60 a ~ 60 d が得られる。

【 0 0 6 8 】

最後に、基板裏面側に、n 側電極 13 として Au-Ge/Ni/Au を蒸着し、 350°C の窒素雰囲気下で熱処理を 10 分間行い、図 3 (D) に示すような構成の表面発光型半導体レーザを得る。

【 0 0 6 9 】

ここで、得られた表面発光型半導体レーザによる光出力-注入電流 ($L-I$) 特性および近視野像を図 5 に示す。すべての電流注入域で安定な LP_{21} モードの発振が得られ、光出力は最大で $3.5\ \text{mW}$ 、直列抵抗も光出力 $3\ \text{mW}$ 時に $80\ \Omega$ という値が得られた。なお、図 5 において、光出力は直線、直列抵抗は一点鎖線、注入電流は破線で各々表されている。

【 0 0 7 0 】

また、図 6 は同一の非酸化領域 34 の径を有し、表面加工を行なわないで 5 つの丸い孔 50 a ~ 50 e を形成しなかった表面発光型半導体レーザ（以下、孔なし表面発光型半導体レーザと称する。）と表面加工を行って 5 つの丸い孔 50 a ~ 50 e を形成した表面発光型半導体レーザ（以下、孔有り表面発光型半導体レーザと称する。）との間で $L-I$ 特性を比較したものである。図 6 に示されているように、表面加工によって共振器損失が増え、しきい値電流が上昇すると共に光出力も半分近くまで低下していることがわかる。

【 0 0 7 1 】

さらに、図 7 に、孔なし表面発光型半導体レーザと孔有り表面発光型半導体レーザとのそれぞれに対して、注入電流 $3\ \text{mA}$ 、 $7\ \text{mA}$ 、 $10\ \text{mA}$ のときのそれぞれ発振スペクトルのグラフを示す。

【 0 0 7 2 】

図 7 のグラフから、孔なし表面発光型半導体レーザでは注入電流 $3\ \text{mA}$ で既に

LP_{01} 、 LP_{11} 、 LP_{21} の各モードに対応したスペクトルが観察され、マルチモード発振していることが確認できる。これに対して孔有り表面発光型半導体レーザでは注入電流 10 mA でも LP_{11} と LP_{21} のモード間でのスペクトル強度比は 30 dB を超え、 LP_{21} モードによる発振が維持されていることがわかる。

【 0 0 7 3 】

以上示した例では 5 つの孔を開けて LP_{21} モードを得たが、これ以外にも他の高次モードを得ることが可能である。例えば、図 8 (A) に示すように、9 つの孔 5 1 a ~ 5 1 i を設けることにより、図 8 (B) に示すようなスポット 6 1 a ~ 6 1 h の LP_{41} モードを得ることができる。

【 0 0 7 4 】

なお、上述した第 1 の実施の形態では、孔の深さを例えば、約 $0.5 \mu\text{m}$ とした場合について述べたが、実験では孔の深さは約 $0.2 \mu\text{m}$ から約 $1.0 \mu\text{m}$ まで変化させて、特性の推移を調べている。その結果、孔の深さが深い方がミラー反射率が確実に低下するのでモードの選択度は向上し、シングルモードになりやすくなった。また、深さに対する変化もクリティカルでなくなるが、全体としてミラー反射率が低下した分、光出力が下がった。これに対し、浅い場合は深さに対する変化の割合が増大し、DBR ミラーの設計に合わせて正確に深さを制御しないと、他のモードが現れやすいことが判明した。

【 0 0 7 5 】

以上のことから本第 1 の実施の形態によれば、横モードを安定化させるという要件を満足しながら、高出力、低抵抗、高効率、かつ高速応答という特性を有する表面発光型半導体レーザとなる。また、このような表面発光型半導体レーザを容易な製造方法で、かつ再現性高く製造できる。

【 0 0 7 6 】

(第 2 の実施の形態)

上述した第 1 の実施の形態においては多層反射膜表面に特定の発振モードを除いて発振モードの発光を抑制するための凹部を形成する際、小径の丸い孔を凹部として形成するスポットエッチングであるのに対して、本第 2 の実施の形態では幅の狭い溝を凹部として形成して同様な効果を得るストライプエッチングである

。なお、第 2 の実施の形態では、基板の縦（積層）構造、および表面加工以外の製造工程は第 1 の実施の形態と同一なので説明は省略し、異なる個所だけ説明する。また、本第 2 の実施の形態の方法は、請求項 1 2 の表面発光型半導体レーザの製造方法に相当する。

【 0 0 7 7 】

第 1 の実施の形態における図 3（B）のあと、電極開口部 4 0 内に F I B 加工装置を用いて表面加工を行なうが、ここでは、例えば、図 9（A）に示すように、電極開口部 4 0 の中心部で互いに交錯する 8 本のストライプ溝 5 2 a ~ 5 2 h を形成する。なお、これら 8 本のストライプ溝 5 2 a ~ 5 2 h は請求項 1 の境界領域、請求項 2 の凹部、及び請求項 5 の溝に相当する。

【 0 0 7 8 】

8 本のストライプ溝 5 2 a ~ 5 2 h のそれぞれの幅は、例えば、約 $0.5 \mu\text{m}$ 、長さは、例えば、約 $14 \mu\text{m}$ とした。各溝の深さはコンタクト層 8 が除去される深さ、この場合では約 50 nm である。なお、これらの数値は一例であり、本発明はこれらの数値に限定されるものではない。このような溝が形成された表面発光型半導体レーザによるスポット 6 2 a ~ 6 2 h の近視野像を図 9（B）に示す。

【 0 0 7 9 】

また、図 1 0 に第 2 の実施の形態の表面発光型半導体レーザの L - I 特性を示す。なお、本実験では酸化工程の後、赤外線顕微鏡にて、一辺 $9 \mu\text{m}$ の矩形電流注入領域が形成されていることを確認した。表面加工によって抑制したいモードに対して過度の反射損失を与えたことで、すべての電流注入域で安定な LP_{41} モードの発振が得られた。この発振モードは溝の位置に定在波の節に相当する箇所が来るため、反射損失も小さく、選択的に発振することになる。光出力は最大で 3.5 mW 、直列抵抗も発振領域ではすべての電流注入域に渡って 50Ω 前後という低い値となった。

【 0 0 8 0 】

図 1 1 は連続注入時の発振スペクトル、およびバイアス電流 4 mA 時に 2.5 ギガビット／秒のノン・リターン・トゥー・ゼロ、擬似ランダム・ビットシーケ

ンス変調を行なった際の発振スペクトルを示したものである。高速直接変調下でも副モード抑圧比30 dBを保っていることがわかる。

【0081】

なお、本実施の形態では、電流注入領域の径および形状を一辺9 μm の矩形とした場合について述べたが、実験では径が15 μm の円形の場合について、モード特性を調べている。上述の矩形電流注入領域の例と同様、電極開口部の中心部で互いに交錯する8本のストライプ溝を形成した。その結果、発振しきい値付近ではLP₄₁モードの発振が得られたものの、注入電流量を増加させるとさらに高次のモードが現れた。

【0082】

そこで、図12に示すように電極開口部の内側に9 μm 径の円環状の境界領域（損失領域）52iを設けたところ、境界領域の内側・外側で16個のスポットが生ずるモード63で安定することを確認した。なお、図12に示すスポットは模式的なものであり、その形状は必ずしも丸くなるわけではなく、扇形となる場合もある。

【0083】

（第3の実施の形態）

本第3の実施の形態は、上記第1の実施の形態、および第2の実施の形態の応用例であり、異なる点は基板の縦（積層）構造に関するものである。すなわち、上部多層反射膜の最上層がAl_{0.8}Ga_{0.2}As層に替えてGa_{0.5}In_{0.5}P層33となっている。これ以外の部分はほぼ共通であるから、第1の実施の形態と同様な箇所は同様な符号を付して説明は省略する。なお、Ga_{0.5}In_{0.5}P層33は本発明のエッチング阻止層に相当し、本実施の形態の方法は、請求項12の表面発光型半導体レーザの製造方法に相当する。

【0084】

図13（A）において、有機金属気相成長法（MOCVD法）により、n型のGaAs基板10の（100）面上に、n型のAl_{0.8}Ga_{0.2}As層とn型のAl_{0.1}Ga_{0.8}As層との複数層積層体よりなる下部多層反射膜12と、アンドープのAl_{0.4}Ga_{0.6}As層よりなる下部スペーサ層14と、アンドープの

GaAs層よりなる量子井戸層とアンドープの $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 層よりなる障壁層との積層体よりなる量子井戸活性層（図示せず）と、アンドープの $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ 層よりなる上部スペーサ層18と、p型の AlAs 層20と、最上層にp型の $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層33が形成され、かつ、p型の $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層とp型の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 層との複数層積層体よりなる上部多層反射膜27と、p型のGaAs層よりなるコンタクト層25とを、順次積層形成する。

【0085】

本第3の実施の形態の上部多層反射膜27は、上層に $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層33が設けられたp型の $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層とp型の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 層よりなる複数積層体である。各層の厚さは $\lambda/4n_r$ であり、混晶比の異なる層を交互に22周期積層してあるが、この周期数は下層に設けた AlAs 層20、および上層に設けた $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層33を加えた数である。

【0086】

本第3の実施の形態では、上記第1、および第2の実施の形態の場合と同様に、リフトオフによりポスト頂部に電極開口部40を形成した後、反応性イオンビームエッチング（RIE）法を用いて所望の発振モードに応じて必要箇所に孔、あるいは溝を形成する。ここでは、GaAsコンタクト層25と $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層33との間で高いエッチング選択比（ $>10:1$ ）が取れるため、孔、あるいは溝の深さを精密に制御することが可能となる。

【0087】

前述の第1の実施の形態及び第2の実施の形態ではGaAsコンタクト層のみを除去するにあたり、 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層との界面で加工を阻止させる必要があったが、打ち込むイオン（ Ga^+ 等）のドーズ量、あるいは加速電圧といった条件次第では深さにばらつきが生じることがあった。

【0088】

第3の実施の形態では反応性のイオンビームエッチング法を用いており、GaAsと $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ は格子定数は近いが材料組成は大きく異なるのでエッチング選択比は十分大きく、 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層33との界面で容易にエッチ

ングの進行を阻止することができる。特に溝状にエッチングする場合、溝が交錯する箇所は複数回の工程を経るため深さの制御が困難になるが、選択性エッチングであるのでこの問題も解消されている。

【 0 0 8 9 】

前記 3 つの実施の形態においては、表面加工の方法として F I B、若しくは R I B E といった切削加工を前提とする装置を利用した例を述べたが、これに限定されることなく、例えば表面に誘電体膜、あるいは金属膜を形成して、損失領域を作ることも可能である。

【 0 0 9 0 】

なお、前記第 3 の実施の形態においては、上部多層反射膜の最上層にエッチング阻止層として $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ を設けたが、このエッチング阻止層はエッチングを阻止させる材料より形成されていればよく、この材料に限定されるものではない。すなわち、エッチング阻止層は、エッチング阻止層の上方に配置されるコンタクト層 2 5 との間でエッチング選択比が大きい、典型的には 1 0 : 1 を超える程度の物性を有し、使用する半導体基板に格子整合する材料であれば良い。上記の実施例の場合、例えば、 $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ 、あるいは $ZnSSe$ 系材料等がその要件を満たす。Al In P 組成比を大きくした材料、あるいは $ZnSSe$ は $GaInP$ よりも大きなエネルギーバンドギャップを有するから、活性層からの光に対して透明性が高まり、エネルギー変換効率の見地からすれば好ましい。ただし $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ の場合、 x の値が 1 に近づくとつれて大気中に晒された際、酸化して特性劣化に繋がる可能性があるので、できるだけ小さい値、典型的には 0.1 以下で用いるのが望ましい。

【 0 0 9 1 】

上記第 1 の実施の形態から第 3 の実施の形態においては、いずれも上部多層反射膜 2 2 (または 2 7) を p 型とし、下部多層反射膜 1 2 を n 型としたが、これに限定されることなく、導電型を反対にすること、あるいはいわゆるイントラキャビティ型 VCSEL を想定し、片側の導電型は導電性の低い真性とすることなどが考えられる。一般に p 型層は n 型層に比べエネルギーバンド不連続性に起因する素子抵抗の増大が懸念されるから、層数が増えることはレーザ特性を劣化さ

せる要因となり好ましくない。このため出射光を基板上面から取り出す関係上、下部多層反射膜 1 2 よりも上部多層反射膜 2 2（または 2 7）の層数を減らす目的で上部多層反射膜 2 2（または 2 7）の導電型を p 型とした。しかし別の視点から考えると素子抵抗は面積に反比例するので、上部多層反射膜 2 2（または 2 7）をポスト状に加工することは素子抵抗を増大させる要因となる。したがって、同じ面積なら p 型層よりも n 型層を上部多層反射膜 2 2 とすることは好ましいという考え方もできる。結局、光の取り出し方向や導電型による素子抵抗の違い、あるいは駆動回路側との相性を勘案しながら、総合的な見地から導電型を適宜選択すればよい。

【 0 0 9 2 】

また、上記第 1 の実施の形態から第 3 の実施の形態において、量子井戸層を構成する材料として、GaAs を用いたが、本発明はこの材料に限定されるものではなく、例えば、AlGaAs、InGaAs、あるいは GaInNAs 等のたの材料を用いることも可能である。

【 0 0 9 3 】

さらに、上記第 1 の実施の形態から第 3 の実施の形態においては、結晶成長方法として MOCVD 法を用いる場合について述べたが、本発明はこの方法に限定されることなく、同様な積層膜が得られる方法であれば適用できる。そのような方法としては、例えば、分子線ビームエピタキシー（MBE）法等が挙げられる。

【 0 0 9 4 】

上記第 1 の実施の形態から第 3 の実施の形態においては、いずれも上部多層反射膜の上層を発光層としたが、本発明はこの構成に限定されるものではなく、例えば、上部多層反射膜の形成時に膜形成条件を制御するなどにより、境界領域を組み込んだ発光層を下層又は内層に組み込むように構成することも可能である。

【 0 0 9 5 】

また、上記第 1 の実施の形態から第 3 の実施の形態においては、いずれもエッチングにより表面層を削って境界領域として凹部を形成する場合について述べたが、例えば、境界領域上にレジストパターンを形成した状態で複数の膜を形成し

た後、レジストパターンを取除くなどのように、境界領域以外の領域に膜を付加することにより境界領域を形成するようにも構成できる。

【 0 0 9 6 】

(第 4 の実施の形態)

次に、上記の実施の形態で説明した表面に境界領域としての溝形状を有する VCSEL において、フェーズロック機構を別途設けることでファーフールドパターン (FFP) を単峰化して、光ファイバへの高次横モードの結合効率を飛躍的に改善した第 4 の実施の形態について説明する。

【 0 0 9 7 】

まず、はじめにフェーズロックの原理について図 2 1 を参照して説明する。伊賀健一編著「半導体レーザ」(オーム社)によれば、「同一基板上に複数の発光導波路を形成し、隣合う導波路間の光電界位相を同期させて、時間的、空間的に一定の位相関係を保つようにすれば、大出力の単峰性ビームが得られることが期待される。そのような素子を位相同期レーザアレイと呼ぶ。」との記述がある。また、「N 個の導波路からなるアレイの場合、結合が弱い場合には N 個のアレイモード (スーパーモードとも呼ばれる) が存在し、結合が強い場合には、各導波路が基本モード条件を満たしていても、1 次モードが許容されるために 2 N 個のアレイモードが存在することが理論的に示されている。N 個のモードのうち、導波路間の位相がそろった状態のモードを 0 度位相モードと呼び、ほぼ単峰性の遠視野象が得られ、実用上望ましい。また隣合う導波路間の位相が 180° 異なるものを 180 度位相モードと呼び、遠視野像は双峰となる。」、「導波路間での光電界振幅は 180 度位相モードの場合 0 となるのに対し、0 度位相モードの場合には 0 でなく、導波路間領域における損失のため、しきい値利得が大きくなる。したがって 180 度位相モードのほうが発振しやすい。」との説明が加えられている。

【 0 0 9 8 】

高次モード発振を生じている VCSEL の発光は、発光スポットの光電界位相間で 180 度位相がずれているものと考えられ、このため FFP は双峰性を示す。従って、図 2 1 に示したように、位相シフト素子を使用して片方の発光スポッ

トに位相シフトを生じさせ、180度位相を反転させれば、0度位相モードと同様に単峰性のFFPが得られると考えられる。

【0099】

上記第1の実施の形態から第3の実施の形態によって作製された素子は高次横モード発振でありながら通常見られるマルチモードではなく単一モードでの発振特性を示すが、FFPが双峰性になりやすく、光ファイバとの結合効率はいまより高くなかった。そこで、本実施の形態では、上記の素子表面を、一定膜厚だけ部分的にエッチング除去し、エッチング除去した部分とこの部分に隣接するエッチング除去しない部分の発光スポットの間に、180度(π)の位相シフトを生じさせた。

【0100】

図16(A)は本実施の形態の素子の概観図を示し、図16(B)はFIBによるエッチングによって深さ Δ だけエッチング除去した部位の断面模式図を表し、図16(C)は発光部の平面図を表している。なお、図16(A)～(C)において、図2及び図3と対応する部分には同一符号を付して説明を省略する。

【0101】

本実施の形態では、複数本のストライプ溝52a～52hによって区画されて円周方向に配置された分割領域を交互、すなわち一つ置きにエッチングによって削ることにより、削った部分の間に残存している部分に深さ Δ の位相シフト領域として凹部53を形成している。

【0102】

この図16(A)～(C)で示した素子はLP₄₁モードで発振するが、他のモードで発振する素子でも以下に述べる原理は同じである。LP₄₁モードの発振では発光スポット領域が複数本のストライプ溝52a～52hによって8個に分割されて複数の分割領域が形成されているが、円周方向に隣り合う2つの発光スポットを生じさせる分割領域間では位相が π ずれて安定する。

【0103】

本実施の形態では、発光スポットを生じさせる扇形の分割領域表面を1つ置きにFIBによるエッチングを使って上部多層反射膜22の途中まで、深さ約0.

2 μ m削っている。深さ Δ は、削った領域の発光スポットの位相が、削らずに残存している領域の発光スポットに対して π だけずれるよう光路長を計算して決定している。ここでは、膜厚40 nmのコンタクト層24および上部多層反射膜22の最上層の1ペアを除去する深さとした。

【0104】

この時得られたL-I-V特性を図17に示す。グラフはシングル高次モードを得るためモードの境界領域に放射状に広がる8本の溝を形成しただけの素子のI-L特性D1と、これに加えてさらに上述のエッチングを施して位相を π シフトさせ、フェーズロックした場合の素子のI-L特性D2の2つについて示している。フェーズロックした場合の素子の光出力は略半減しているが、V-I特性D3についてはほとんど変化がなく、低抵抗性を保っていることがわかる。また、I-R特性D4についてもほとんど変化がない。光出力の低下についてもFIBによるエッチングで削ったために表面の平坦性が損なわれたことに起因するもので、選択性エッチングといった表面の平坦性を維持できる方法を用いれば改善できる。

【0105】

続いて、両素子のFFPの結果を図18に示す。ストライプ溝を形成しただけの素子は上述の通り双峰性のFFPを示したが、位相を π シフトさせることによるフェーズロックを行った素子では主ピークの近傍に副ピークが見られるものの、強度比は高く、半値全幅で示される広がり角は5 deg.程度と著しく改善されていることが分かる。これにより光ファイバへの結合効率は飛躍的に向上する。

【0106】

上記第4の実施の形態においては、位相シフトを生じさせるために半導体多層膜をエッチング除去する方法を示したが、本発明はこの方法に限定されることなく、例えば表面に誘電体膜、あるいは金属膜を積層して位相シフト層を形成して、同様の効果を得ることも可能である。

(第5の実施の形態)

上記第4の実施の形態では、特定の高次発振モードを得るため表面に形成され

たストライプ溝を有する VCSEL において、特定領域に位相シフト領域（凹部）設けることにより FFP を擬似単峰化し、光ファイバへの結合効率を飛躍的に高める例について述べた。

【 0 1 0 7 】

ところがこの方法は特に溝形状を有しない素子においてもある程度高次モードを単一化し、かつ FFP を擬似単峰化する効果を有することが判明したので、次は溝形状を有しない素子に本発明を適用した第 5 の実施の形態について述べる。

【 0 1 0 8 】

第 5 の実施の形態の素子製造方法は、上記第 1 の実施の形態から第 4 の実施の形態で行った溝等の境界領域形成工程用いることなく、第 4 の実施の形態と同様に、扇形の分割領域について、素子表面を一定膜厚だけ部分的にエッチング除去して π 位相シフトさせるものである。

【 0 1 0 9 】

図 1 9 (A) は素子の平面を模式的に示す平面図を表し、図 1 9 (B) はエッチング除去した部位の断面模式図を表している。図 1 9 (A) において、7 は電流狭窄領域を示し、8 はその開口部で発光領域を示す。

【 0 1 1 0 】

本実施の形態では、上記第 4 の実施の形態と同様に LP_{41} モードでの発振を想定して位相シフト層の平面形状を決定したが、他のモードでも以下に述べる原理は同じである。発光領域 8 は、特定の発振モードに対応して複数の分割領域に分割され、図 1 9 の例では、8 個の分割領域に分割され、この分割領域としての扇形のスポット領域 8 a, 8 b を RIE を使ってコンタクト層、および上部 DBR 層の一部を、発光スポットの位相が π だけシフトする深さ Δ まで 1 つ置き of スポット領域 8 b を削って凹部を設け、スポット領域 8 a との間に段差形状を形成した。

【 0 1 1 1 】

このような段差形状が形成された場合、平坦部での反射率は初期状態を略維持していることから高い反射率（高反射率領域 P 1）のままで発振特性への影響はほとんどない。しかし、段差に相当する界面部分（境界領域）は高反射率領域 P

1 からそれと同等の高反射率領域 P 2 への遷移領域となる関係から反射率の低下を生じ、また界面近傍での回折、散乱による光損失も避けられないから、この部分に溝形状を形成した上記第 1 の実施の形態から第 4 の実施の形態の場合と同様に機能し、この部分を節とする定在波が立ちやすくなる。

【 0 1 1 2 】

したがってフェーズロック動作と共にモード選択性も生じて高次シングルモードが得られる。ただし溝形状を形成した場合に比べると他のモードを抑制する効果は弱い。

【 0 1 1 3 】

それでも、 π 位相シフトによるフェーズロックの結果、FFP の広がり角は 5 d e g . 程度と狭く、光ファイバへの結合効率は充分高くなるが、さらにモード選択性を改善する施策として高反射率領域 P 1 から高反射率領域 P 2 への遷移領域の反射率低下を促進する、あるいはこの領域の幅を広げる方法が考えられる。この目的のため図 2 2 に示すように、段差部分を順テーパ、あるいは逆テーパ形状に加工する方法が有効である。

【 0 1 1 4 】

段差に相当する界面部分（境界領域）は高反射率領域 P 1 からそれと同等の高反射率領域 P 2 への遷移領域となる関係から高い反射率を保つための膜厚条件からはずれた特異点とみなせる。テーパ形状はこれを強調する役割を果たし、入射した光の回折、あるいは散乱が生じ易く、反射率の低下は避けられない。

【 0 1 1 5 】

エッチングプロセス、特にドライ加工技術（反応性イオンエッチング等）においても、このような段差の根元部分の特異点領域であり、プロセス条件次第では反跳イオンの影響で深くえぐれる現象がしばしば観察される。図 2 2 (d) はこのような現象を利用したもので、段差から深さ方向に延びる窪みである、えぐれたディップ部分で反射率低下が著しいことを用いて横モード制御に資することを狙いとしたものである。

【 0 1 1 6 】

上記第 5 の実施の形態においては位相シフトを生じさせるために半導体多層膜

をエッチング除去して凹部を形成する方法を示したが、本発明はこの方法に限定されることなく、例えば表面に誘電体膜、半導体膜、あるいは透光性の金属膜の少なくとも1つを形成して、凸部を形成することにより同様の効果を得ることも可能である。図20はコンタクト層上に位相シフト層50を半導体連続成長にて積層した後、両者の間で選択性エッチングを行って位相シフト効果を有する領域を形成した素子の例である。ここでは、コンタクト層24がGaInP、位相シフト層50がGaAsの組み合わせが考えられる。また、積層タイプの位相シフト層は単層である必要はなく、DBRミラー同様GaAsとAlGaAsの多層膜を用いてもよい。誘電体膜、半導体膜、あるいは透光性の金属膜を用いる場合も同様である。以上の実施の形態の説明では、基板上のポストの上部から発光する例を示したが、例えば、基板をリフトオフ等により除去し、除去した側から発光するようにしてもよいことは明らかである。

【0117】

以上の工程を使用して製造した表面発光型半導体レーザは、電流、および光閉じ込め機能は選択的に酸化された領域によって分担され、一方、発振モードの制御は電極開口部に形成された表面加工パターンによって分担されることになり、低しきい値電流で、かつ高効率、高速応答性を有する屈折率導波型VCSELでありながら、高出力、低抵抗の優れた特性を有し、しかも、本発明の本来の目的である、横モードが安定なVCSELを実現したものとなる。

【0118】

最後に、前記いずれの実施の形態も限定的に解釈されるべきものではなく、本発明の構成要件を満足する範囲内で他の方法によっても実現可能であることは言うまでもない。

【0119】

【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、横モードを安定化させるという要件を満足しながら、高出力、低抵抗、高効率、かつ高速応答という特性を有する表面発光型半導体レーザが得られる、という効果がある。

【0120】

また、前記特性を有する表面発光型半導体レーザを容易な製造方法で、かつ再現性高く製造できる、という効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】表面加工のパターンと Linearly Polarized 近似に基づく電磁界モードパターンとの対応関係を表す模式図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施の形態に係る表面発光型半導体レーザの製造工程の前半の工程を説明するための断面図である。

【図 3】本発明の第 1 の実施の形態に係る表面発光型半導体レーザの製造工程の後半の工程を説明するための断面図である。

【図 4】図 4 (A) は本発明の第 1 の実施の形態に係る表面発光型半導体レーザの上面模式図であり、図 4 (B) は図 4 (A) の表面発光型半導体レーザによるスポットを示す模式図であり、図 4 (C) は図 4 (A) の A-A 線部分断面図である。

【図 5】本発明の第 1 の実施の形態に係る表面発光型半導体レーザの光出力-注入電流 ($L-I$) 特性を示すグラフ、および近視野像の概略を示す説明図である。

【図 6】本発明の第 1 の実施の形態に係る表面発光型半導体レーザの $L-I$ 特性の比較を行なうための特性図である。

【図 7】本発明の第 1 の実施の形態に係る表面発光型半導体レーザの発振スペクトルの比較を行なうための特性図である。

【図 8】図 8 (A) は本発明の第 1 の実施の形態の表面発光型半導体レーザの応用例を示す上面模式図であり、図 8 (B) は図 8 (A) の表面発光型半導体レーザによるスポットを示す模式図である。

【図 9】図 9 (A) は本発明の第 1 の実施の形態に係る表面発光型半導体レーザの上面模式図であり、図 9 (B) は図 9 (A) の表面発光型半導体レーザによるスポットを示す模式図である。

【図 10】本発明の第 1 の実施の形態に係る表面発光型半導体レーザの光出力-注入電流 ($L-I$) 特性を示すグラフである。

【図 11】本発明の第 2 の実施の形態に係る表面発光型半導体レーザの発振

スペクトルを示すグラフである。

【図 1 2】本発明の第 2 の実施の形態に係る表面発光型半導体レーザの変形の一例を示す表面加工のパターンと、その時に得られる電磁界モードパターンを表す模式図である。

【図 1 3】本発明の第 3 の実施の形態に係る表面発光型半導体レーザの製造工程の前半の工程を説明するための断面図である。

【図 1 4】本発明の第 3 の実施の形態に係る表面発光型半導体レーザの製造工程の後半の工程を説明するための断面図である。

【図 1 5】従来技術に係る表面発光型半導体レーザの断面図である。

【図 1 6】図 1 6 (A) は第 4 の実施の形態の素子の概観図、図 1 6 (B) は F I B によってエッチング除去した部位の断面模式図、図 1 6 (C) は発光部の平面図である。

【図 1 7】第 4 の実施の形態の L - I - V 特性を示す線図である。

【図 1 8】ストライプ溝を形成しただけの素子の F F P とフェーズロックを行った素子の F F P とを比較して示す線図である。

【図 1 9】図 1 9 (A) は第 5 の実施の形態の素子の平面図、図 1 9 (B) はエッチング除去した部位の断面模式図である。

【図 2 0】積層によって位相シフト層を形成した素子の断伝図である。

【図 2 1】フェーズロック機構を説明するための線図である。

【図 2 2】順テーパ段差、逆テーパ段差等を説明するための線図である。

【符号のの説明】

- 1 0 G a A s 基板
- 1 1 p 側電極
- 1 2 下部多層反射膜
- 1 3 n 側電極
- 1 4 下部スペーサ層
- 1 8 上部スペーサ層
- 2 0 p 型の A l A s 層
- 2 2、2 7 上部多層反射膜

24、25 コンタクト層

26、SiON

28 レジストマスク

30 ポスト部

33 Ga_{0.5}In_{0.5}P層

34 非酸化領域

36 感光性ポリイミド

38 レジスト構造物

40 電極開口部

50a~50e、51a~51i 孔

52a~52h ストラライブ溝




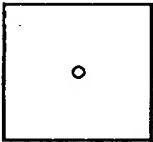
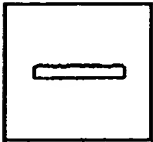

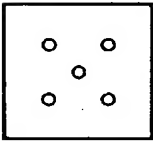
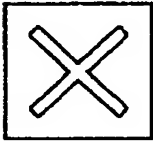

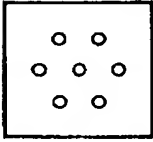


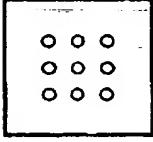

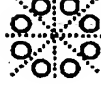
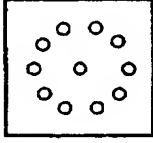


60a~60d、61a~61h、62a~62h 発光スポット

63 16個のスポットが生じたモード

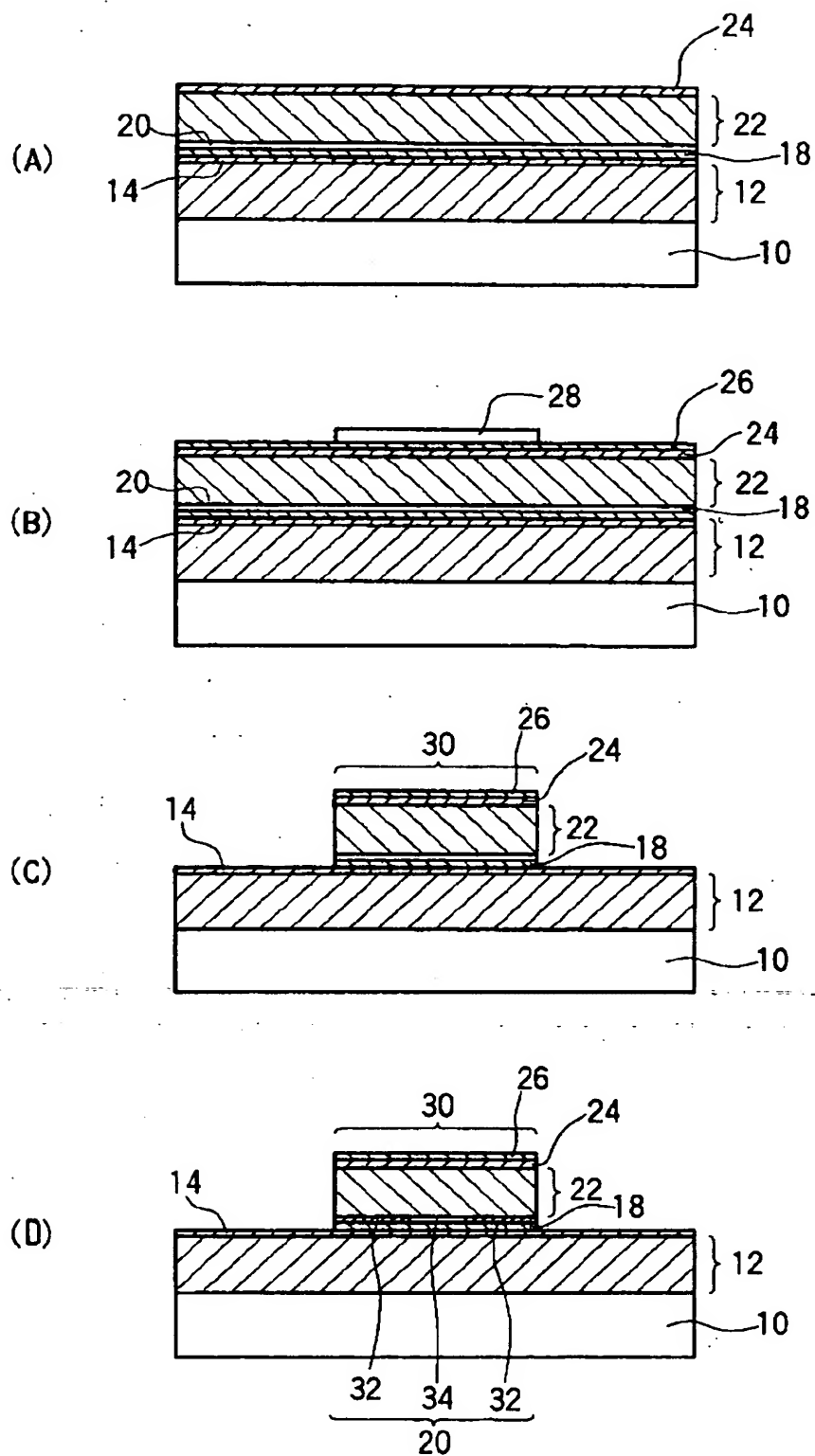
【書類名】

図面

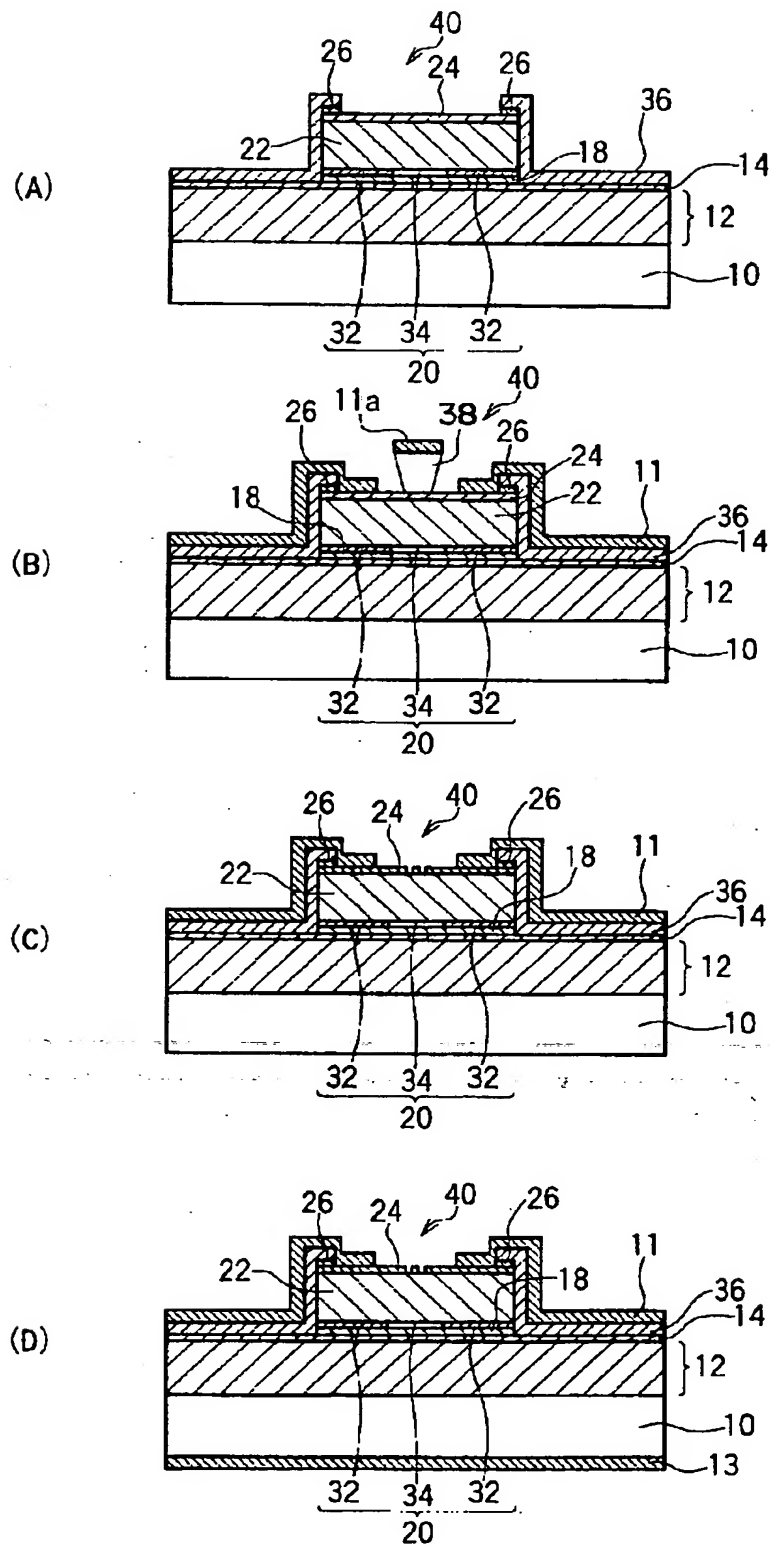
【図 1】

モ ー ド		孔	溝	発光 スポット
	LP ₀₁			
	LP ₁₁			
	LP ₂₁			
	LP ₃₁			
	LP ₄₁			
	LP ₅₁			

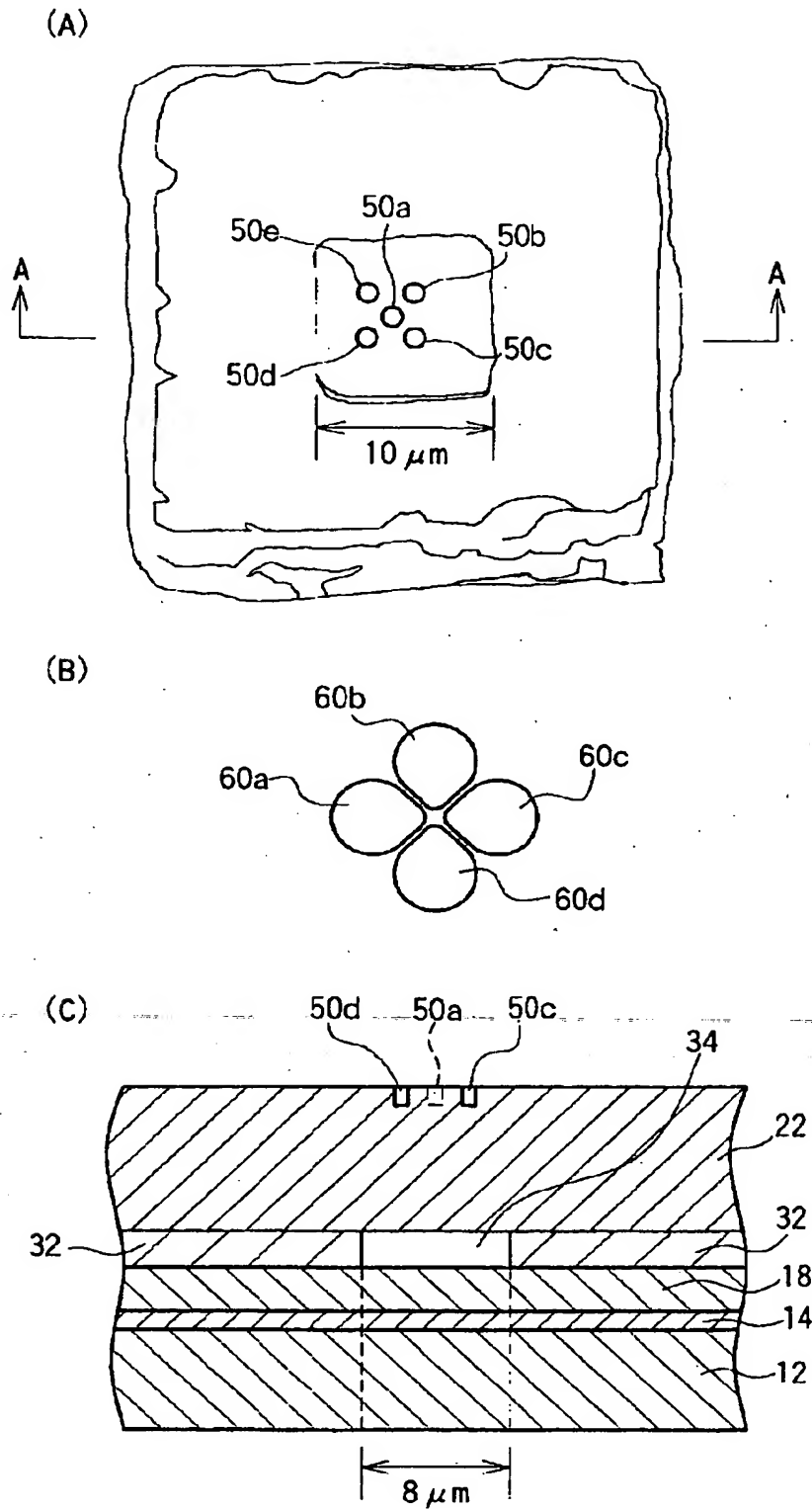
【図 2】



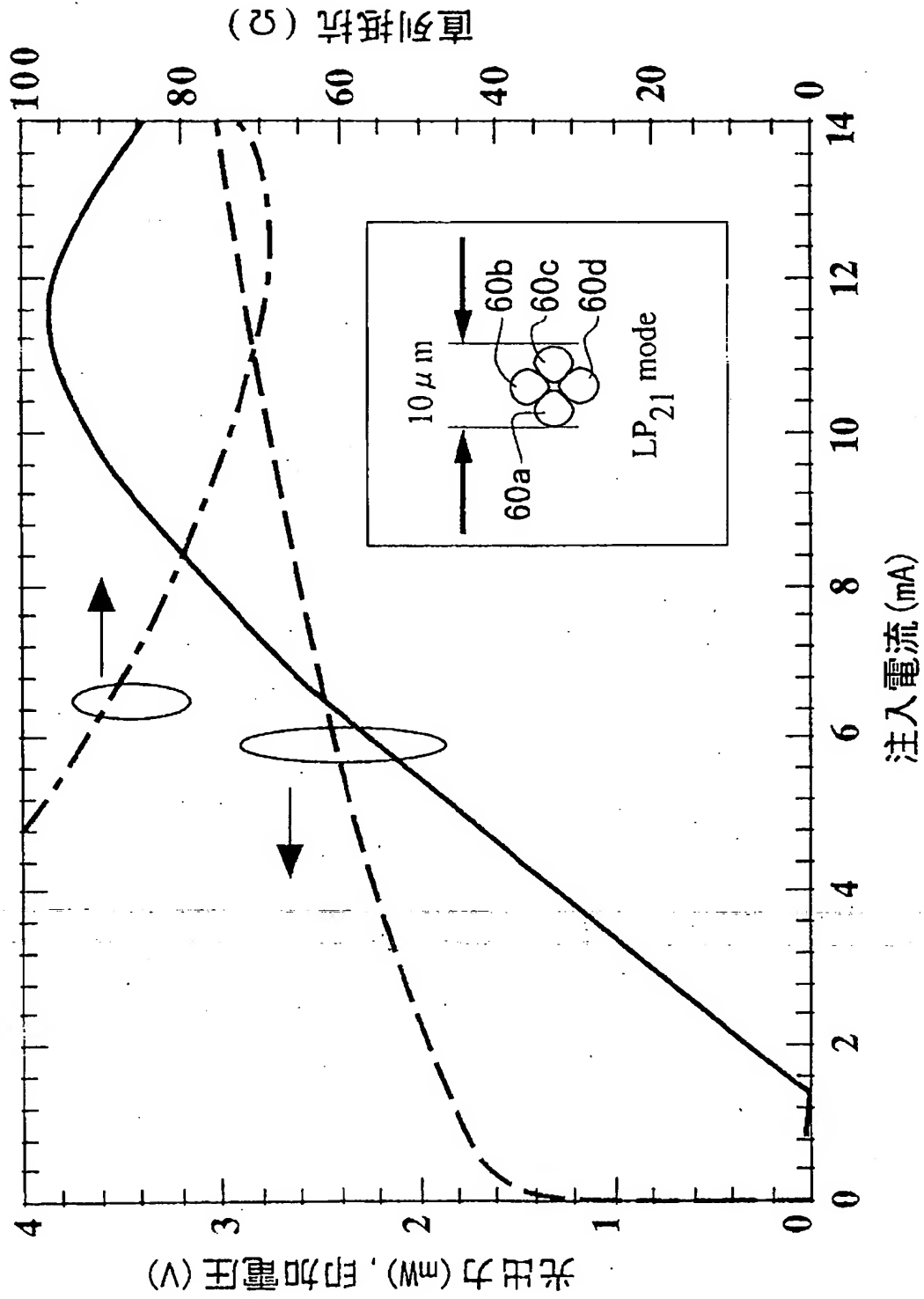
【図 3】



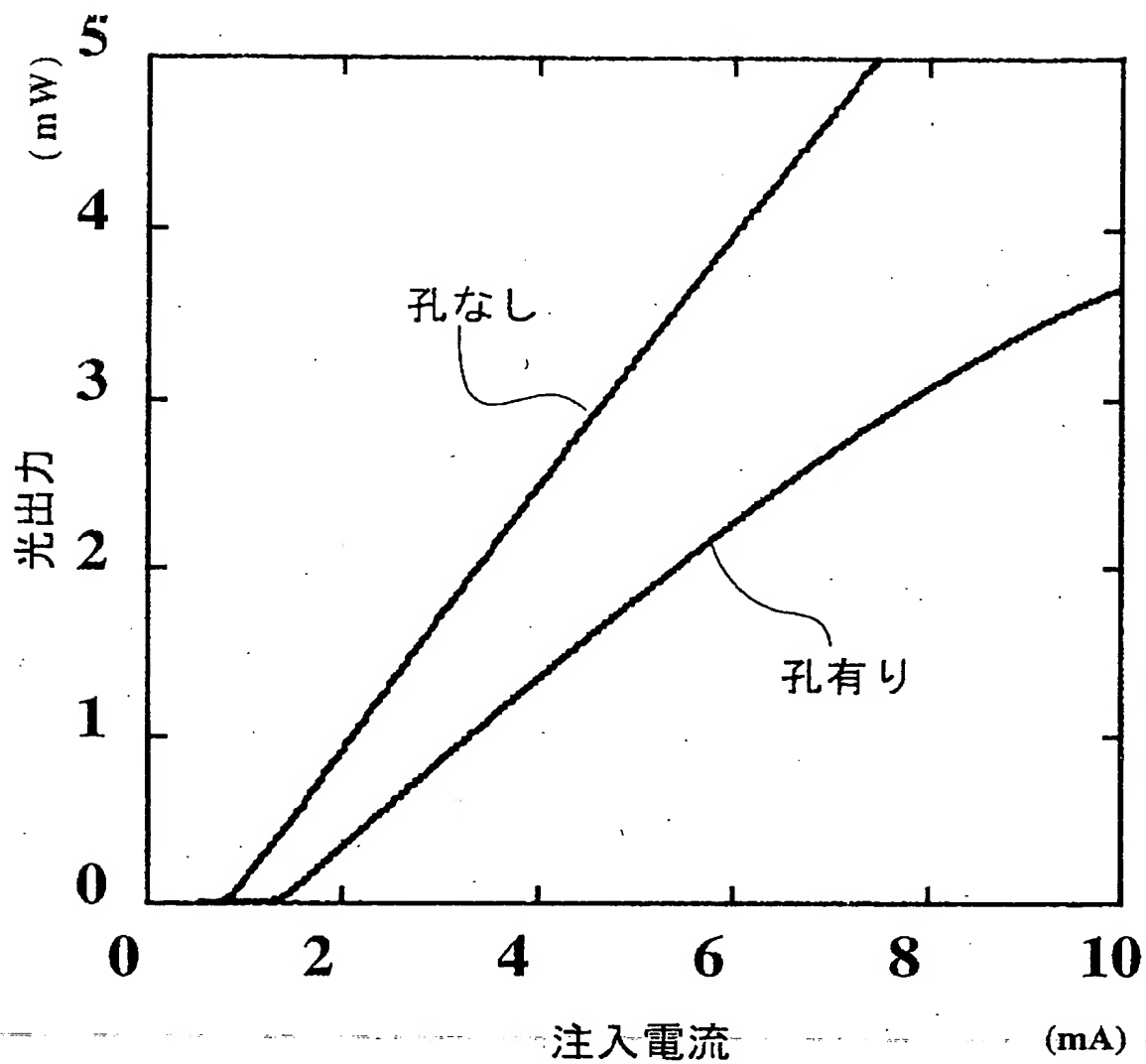
【図 4】



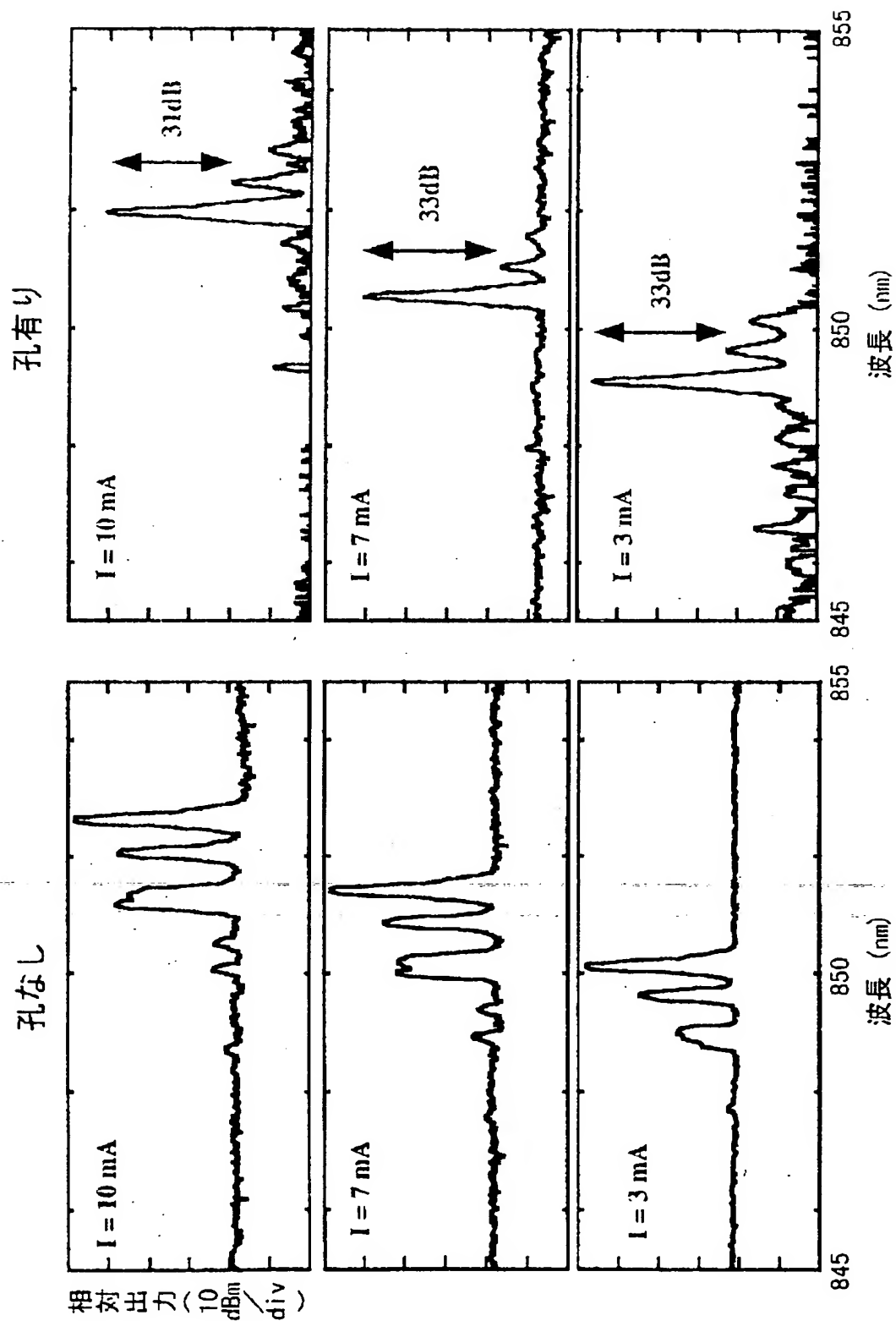
【図 5】



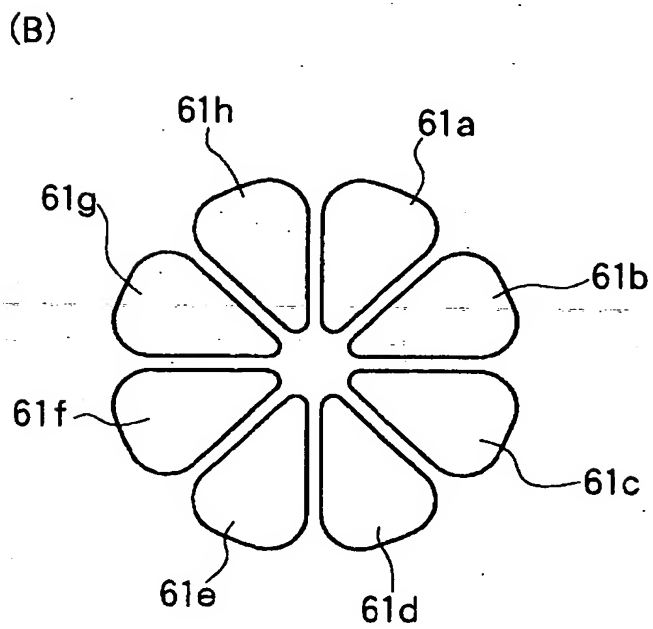
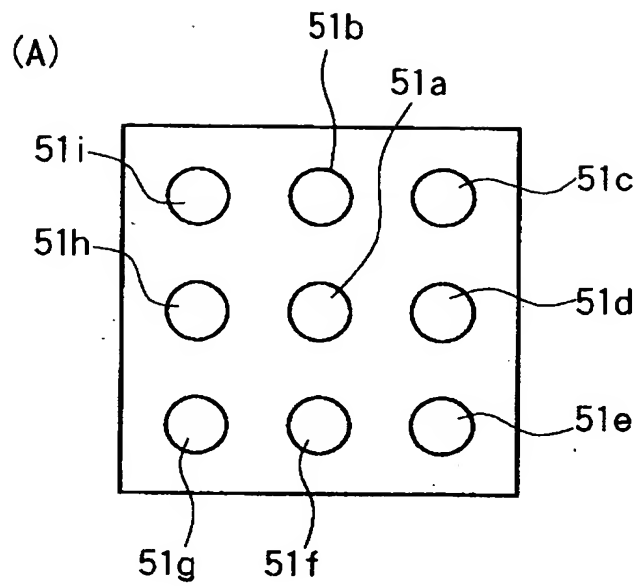
【図6】



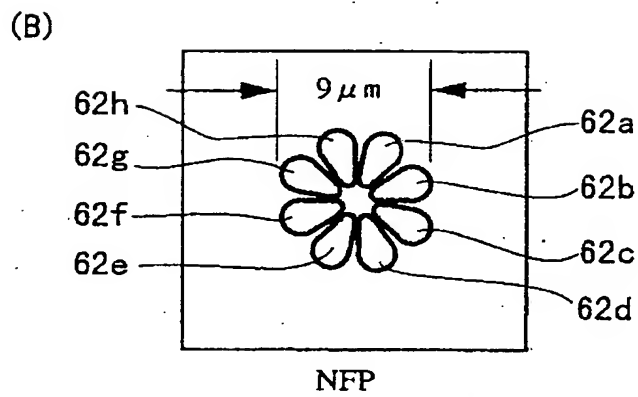
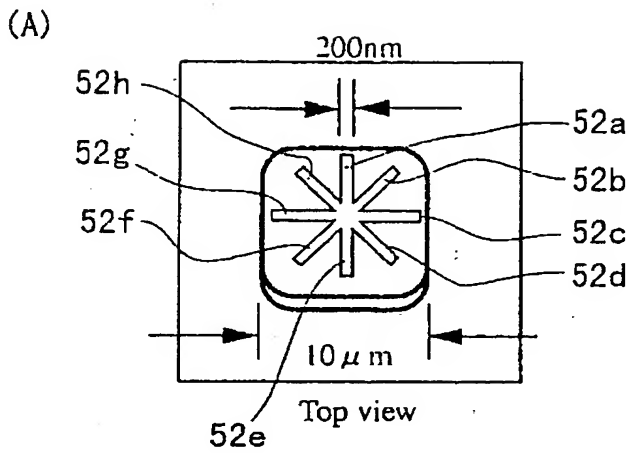
【図 7】



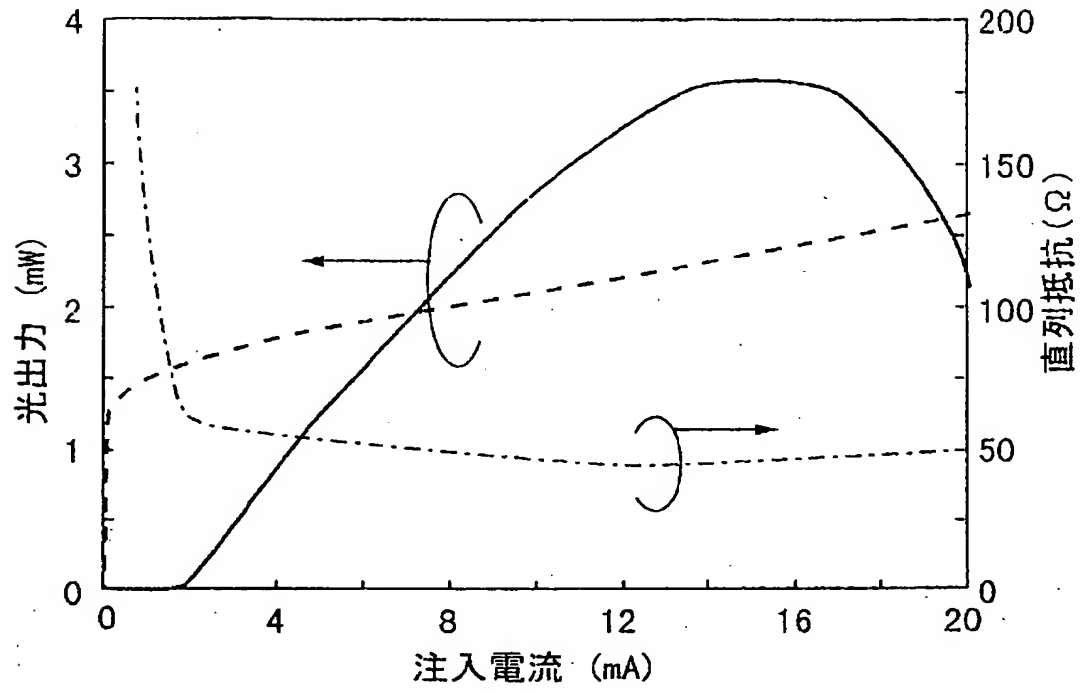
【図 8】



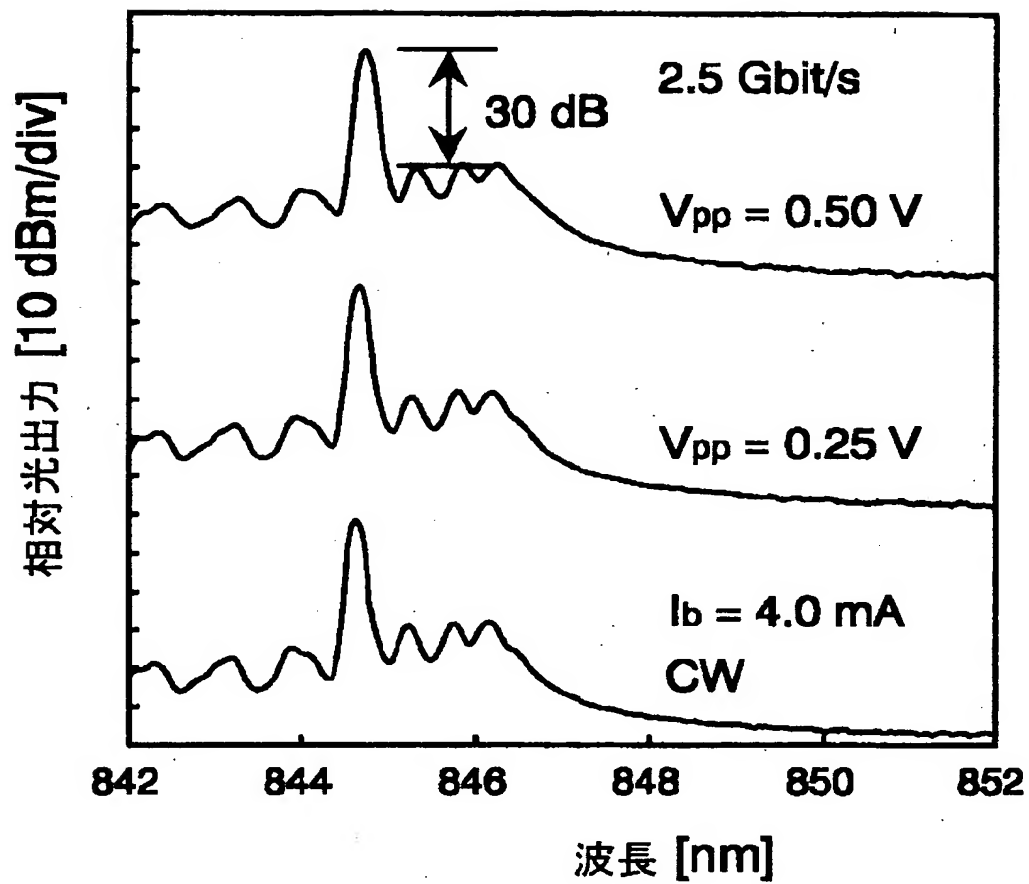
【図 9】



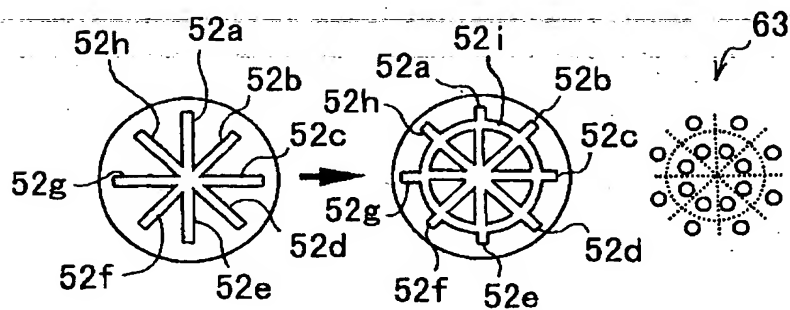
【図10】



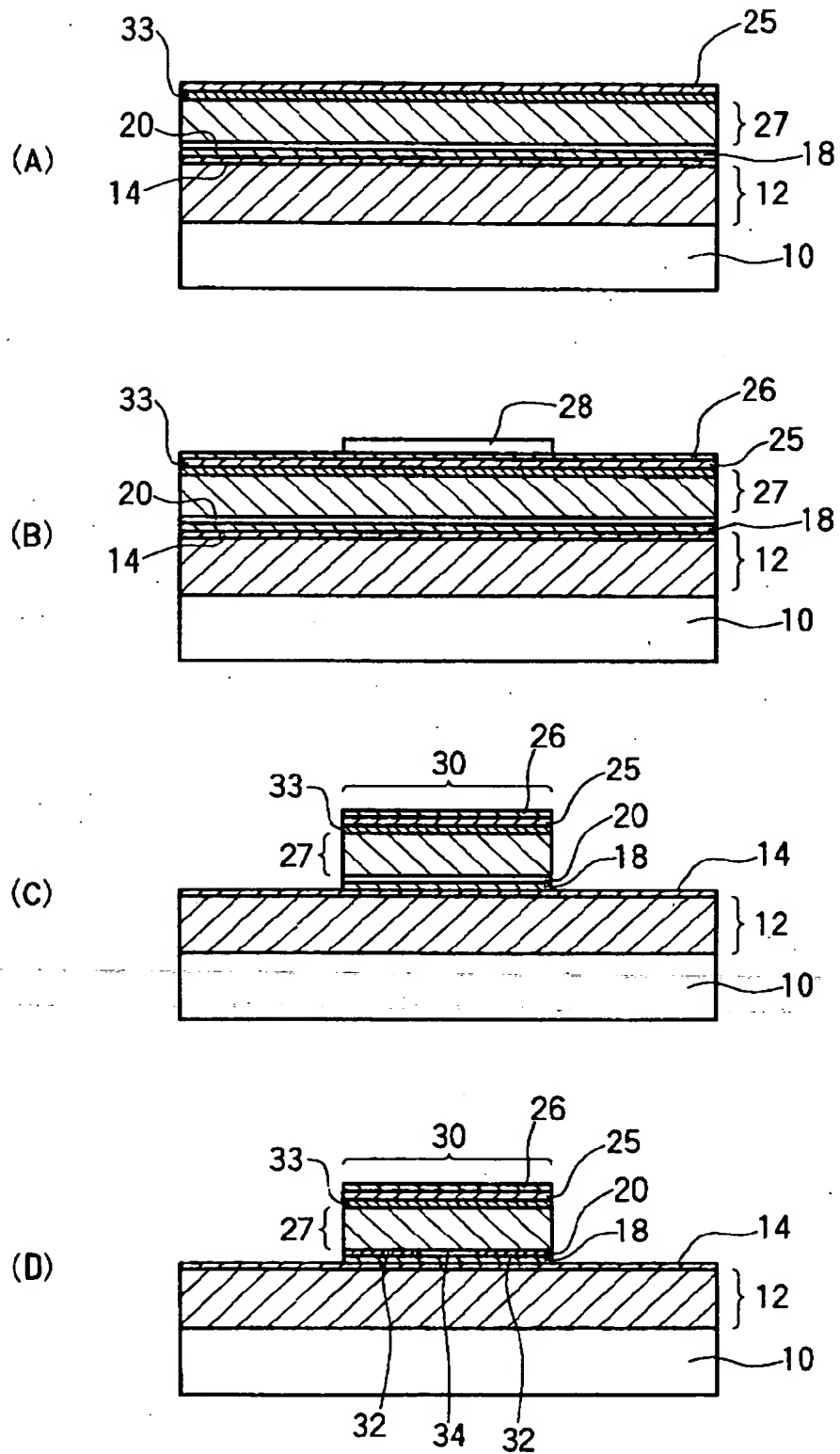
【図 1.1】



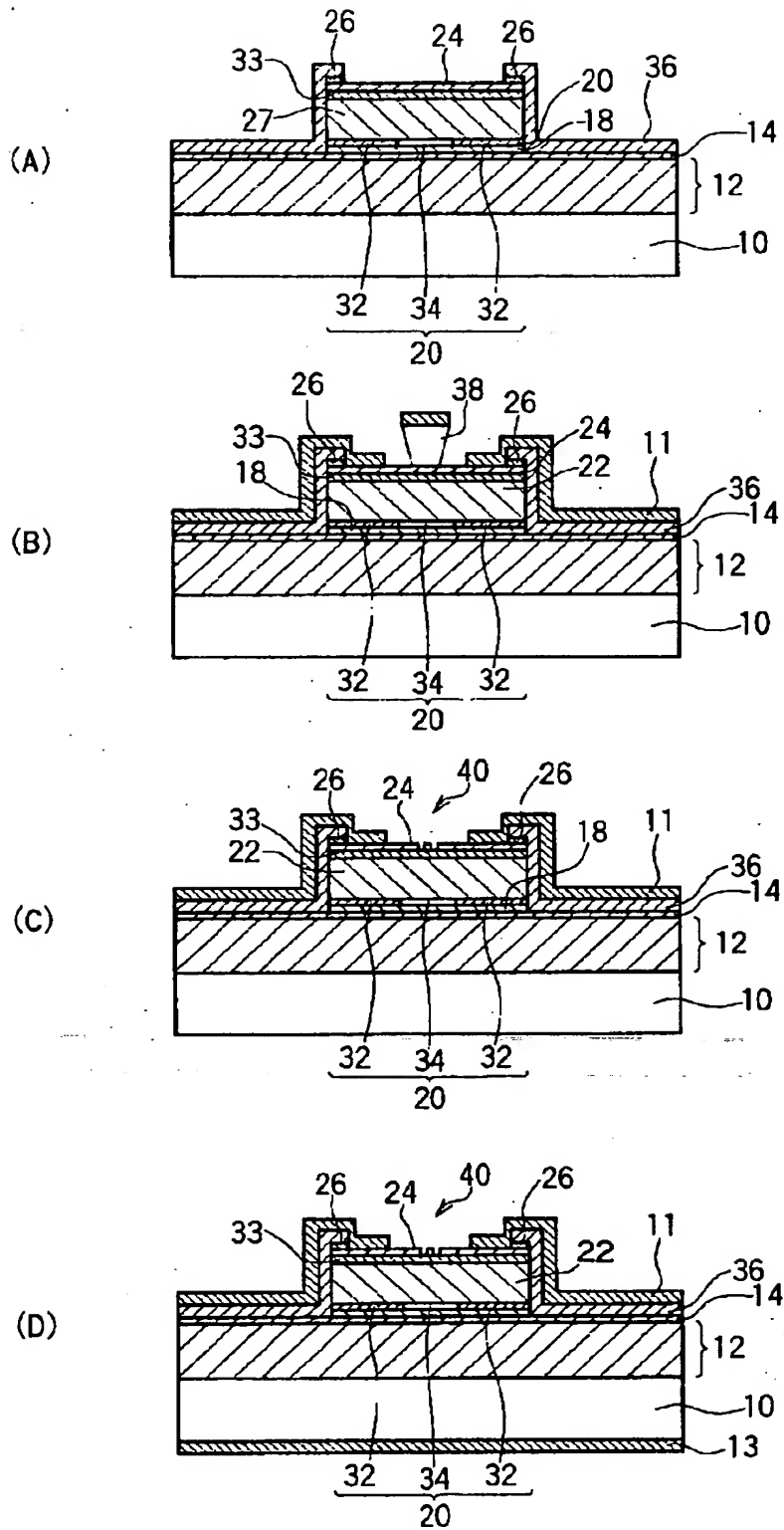
【図 1.2】



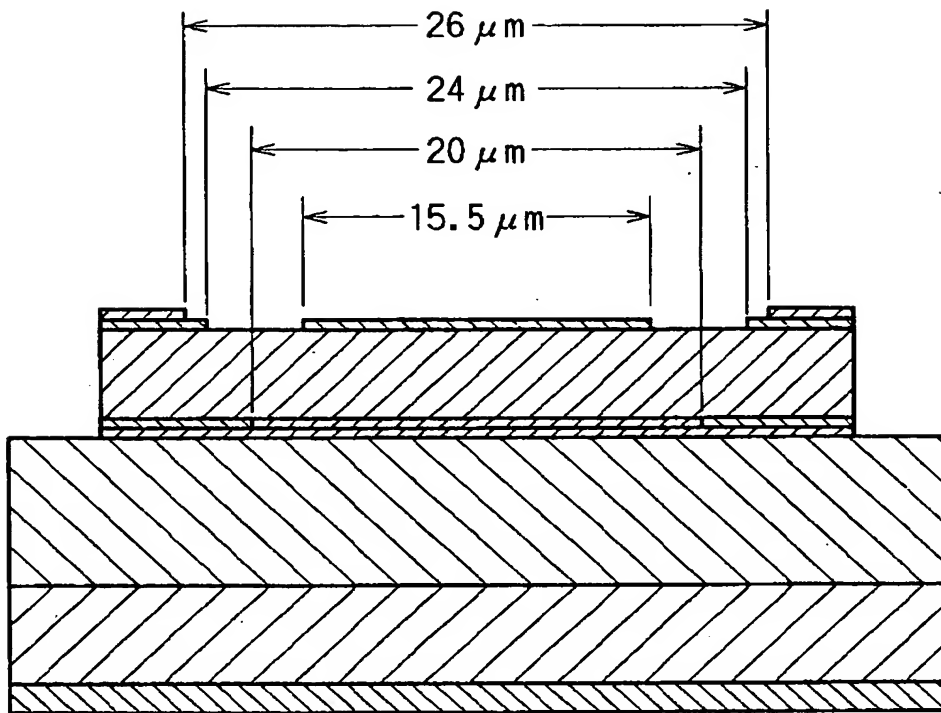
【図 1 3】



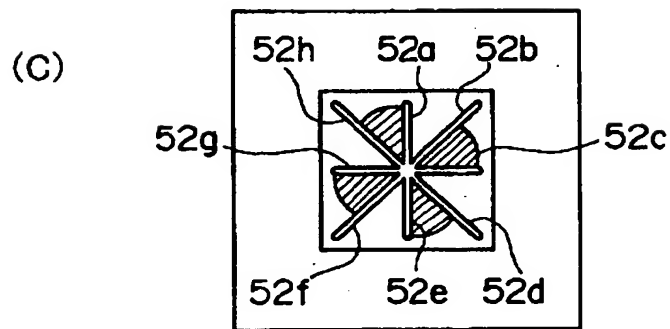
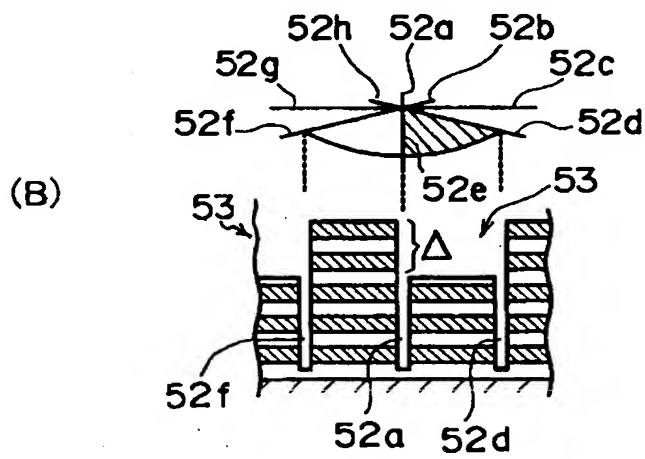
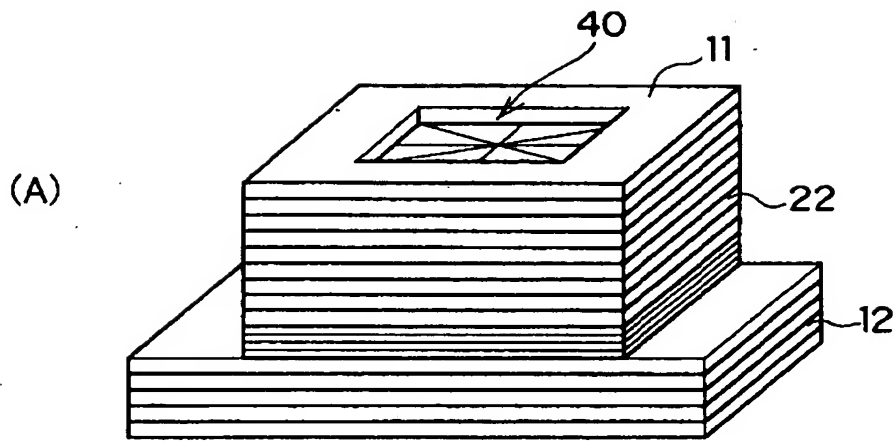
【図 1 4】



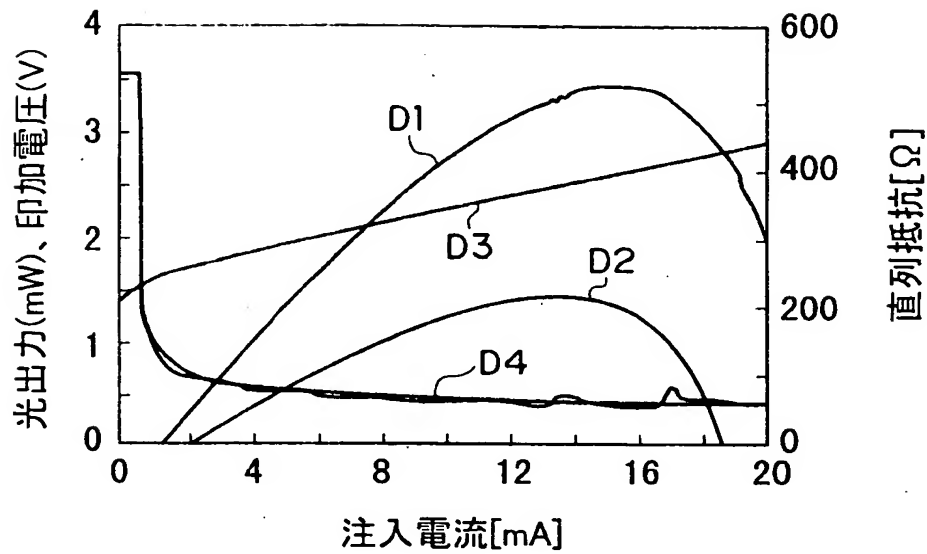
【図 1 5】



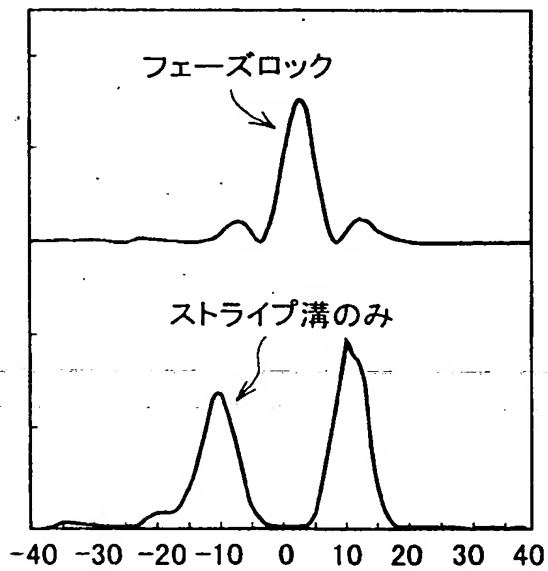
【図 1 6】



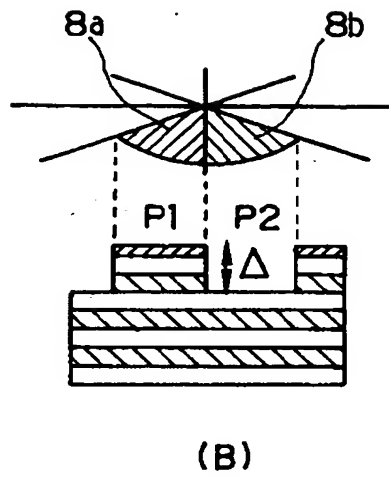
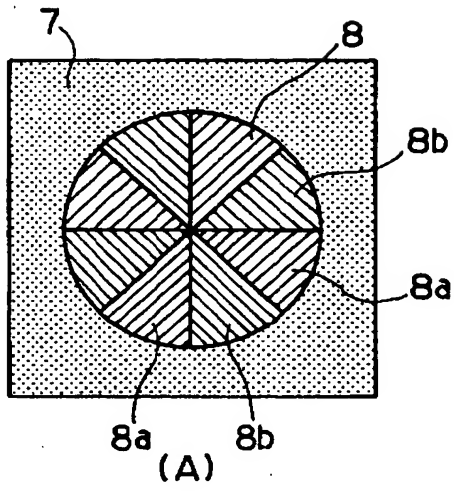
【図 17】



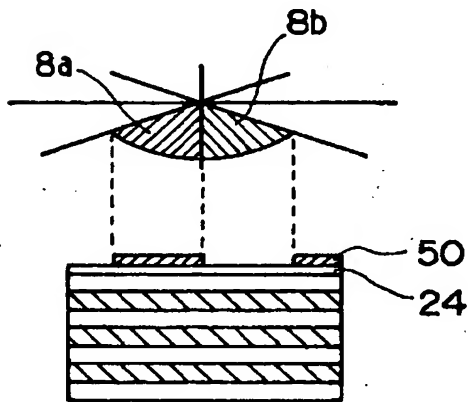
【図 18】



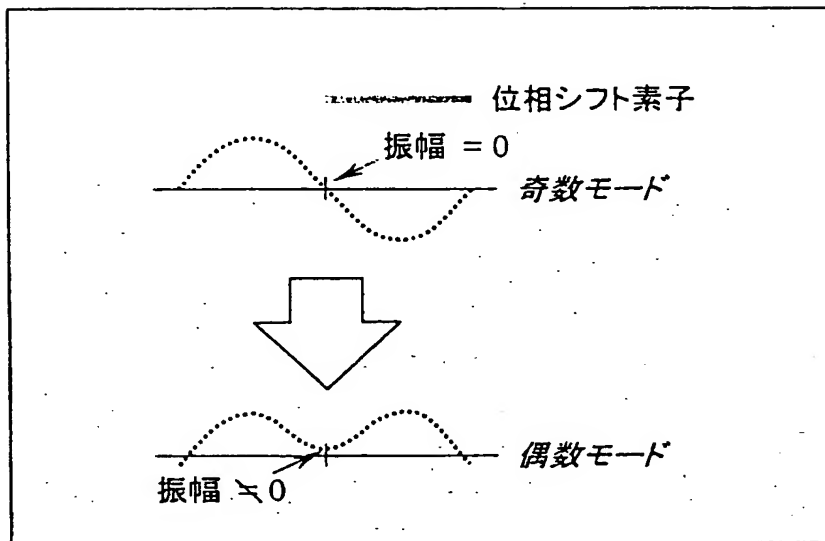
【図 1 9】



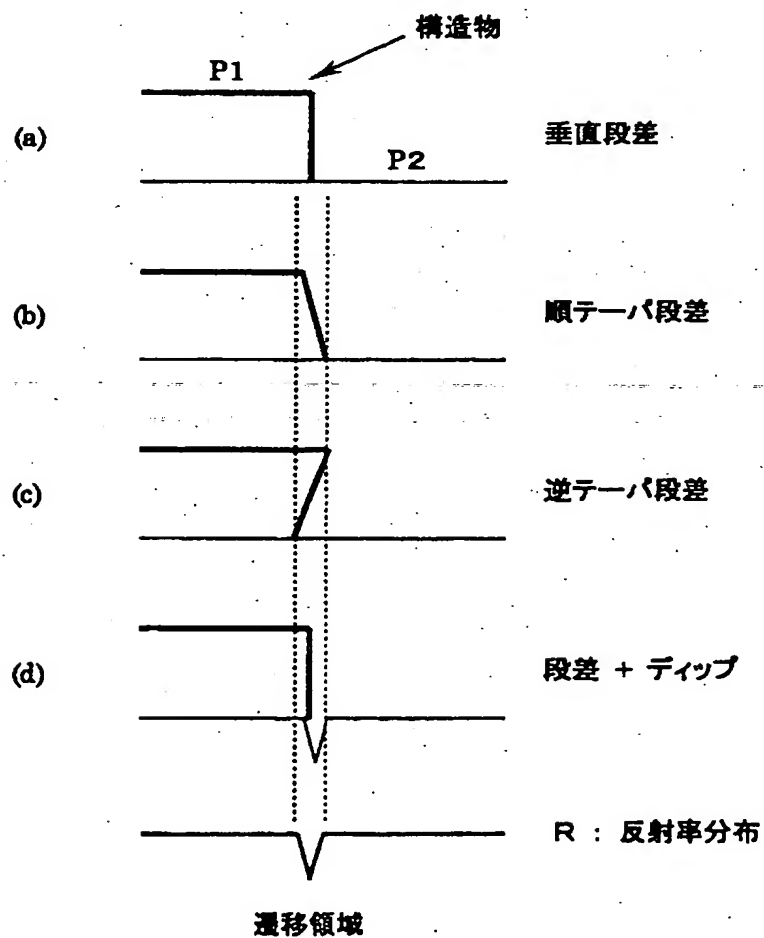
【図 2 0】



【図 2 1】



【図 2 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 横モードを安定化させるという要件を満足しながら、高出力、低抵抗、高効率、かつ高速応答という特性を有する表面発光型半導体レーザ及び表面発光型半導体レーザの製造方法を提供する。

【解決手段】 ポスト状に加工した上部多層反射膜 2 2 の上面に形成された電極開口部 4 0 内に集束イオンビーム (F I B) 加工装置を用いて、5 つの丸い孔 5 0 a ~ 5 0 e を形成する。1 つの孔 5 0 a は、約 8 μ m の矩形電流注入領域の中心位置に相当する上方の多層反射膜表面に形成し、残りの 4 つの孔 5 0 b ~ 5 0 e は矩形電流注入領域のコーナー部、例えば、約 2 μ m 角程度離れた位置に形成して、4 つの発光スポット 6 0 a ~ 6 0 d を得る。

【選択図】 図 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005496]

1. 変更年月日 1996年 5月29日
[変更理由] 住所変更
住 所 東京都港区赤坂二丁目17番22号
氏 名 富士ゼロックス株式会社

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [501125862]

1. 変更年月日 2001年 7月25日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県横浜市緑区長津田町4259

氏 名 小山 二三夫